



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL FINAL DE GRAU

TÍTOL DEL TFG: Aparcamiento Robotizado en un Aeropuerto

TITULACIÓ: Grau en Enginyeria d'Aeronavegació
Grau en Enginyeria d'Aeroports

AUTOR: Ramsés Almeda Millán

DIRECTOR: Ángel Cuadras Tomás

DATA: 22 de Julio del 2016

Títol: Parking Robotitzat en un Aeroport

Autor: Ramsés Almeda Millán

Director: Ángel Cuadras Tomás

Data: 22 de juliol del 2016

Resum

Actualmente existe una problemática importante con el espacio edificable. Por ello, la optimización del espacio se ha convertido en una necesidad primordial en todo tipo de instalación que se desarrolla. Las zonas con densidad de población elevadas conllevan a una densidad también elevada de vehículos y por ello, problemas en su aparcamiento. Un claro ejemplo pueden ser núcleos urbanos o aeropuertos con poca disponibilidad de aparcamiento.

De esta necesidad, surge la iniciativa por desarrollar un parking automatizado para el aeropuerto de Ibiza. Para realizar este proyecto, se han utilizado los conocimientos básicos que se tenían en cuanto a programación de procesos secuenciales y de electrónica agregados a los conocimientos desarrollados durante la fase de proyecto en cuanto a programación industrial dentro del ámbito profesional. Con los conocimientos adquiridos se ha diseñado un sistema automatizado de aparcamiento programando un autómata lógico programable S7-1513 de Siemens, a través de la herramienta software de automatización Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal).

Al sistema automatizado se le ha integrado otro segundo sistema SCADA, integrando ambos sistemas de manera que se comuniquen y procesen las secuencias y maniobras de las máquinas del aparcamiento en tiempo real.

Por último, se ha desarrollado también ambos sistemas PLC+SCADA junto con el almacenamiento de todos los valores de los parámetros de las entradas y salidas del sistema en los bloques de datos (DB) con que trabaja el autómata de forma que se guarda en tiempo real toda la información del sistema en los medios de almacenamientos externos que se pueden conectar al autómata.

Como resultado final del proyecto, se ha obtenido un sistema automatizado para un diseño de aparcamiento modular y escalable a cualquier ámbito y dimensionamiento requerido. El sistema automatizado presenta un diseño de optimización del espacio y del tiempo de ciclo de los procesos secuenciales que se realizan en el funcionamiento habitual de la instalación. Se ha obtenido una simulación en tiempo real del sistema automatizado junto con el SCADA desarrollado, de forma que se puede monitorizar todos los procesos tanto desde PLC como desde la pantalla HMI.

Title: Automatic parking system at an airport.

Author: Ramsés Almeda Millán

Director: Ángel Cuadras Tomás

Date: July 22nd 2016

Overview

Nowadays, it exists a relevant difficulty with the building land. Therefore, the land optimization has become an essential need in every single facility developed. The areas with high population density imply also high vehicle density and so, problems at the time of parking. Some examples could be the city centres and the airports with availability low to park.

From all the mentioned before, it appears the necessity of developing an automatic parking for the Ibiza airport. In one hand, for realising this project the basic knowledge related to the programming sequential processes and electronics has been used and, in second hand, the new knowledge of industrial programming in the professional sector developed during the project phase. With the obtained knowledge, an automatic parking system has been designed programming a Siemens' programmable logic controller S7-1513. Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) is the software tool for programming this controller.

A second system, called SCADA, has been developed. The both systems are integrated obtaining a real time communication and sequences and manoeuvres processes.

Finally, it has been developed the storage of all variables, inputs and outputs of the PLC+SCADA system. The storage of the used controller is the data blocks (DB) and all of the information is saved in real time on the external storage, which can be connected to the controller.

As a final result of the project, an automatic system for a modular and scalable parking design for any area and dimensioning required has been obtained. The automatic system shows an optimization space design and also reduce the cycle time of the sequential processes realized on the facility normal running. A simulation of the PLC+SCADA systems has been obtained in real time, allowing the monitoring of all the facility processes.

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y SIGLAS

TIA	Totally Integrated Automation
I+D	Investigación y Desarrollo
RSI	Retorno Sobre la Inversión
CI	Circuito Integrado
PLC	Controlador Lógico Programable
E/S	Entradas y Salidas
CPU	Unidad Central de Procesamiento
RAM	Memoria de Acceso Aleatorio, <i>Random Access Memory</i>
ROM	Memoria de Sólo Lectura, <i>Read-Only Memory</i>
PID	Proporcional, Integrable y Derivativo
MPI	Interfaz Multi-Punto, <i>Multi-Point Interface</i>
DP	Profibus – PROcess Field BUS.
PN	Profinet – PROcess Field NET.
VDF	Variador De Frecuencia
FC	Final de Carrera
DCS	Sistema de Control Distribuido, <i>Distributed Control System</i>
SCADA	Supervisión, Control y Adquisición de Datos
HMI	Interfaz Hombre-Máquina
SGA	Sistema de Gestión Automatizado
TKS	Sistema de acceso y pago al aparcamiento
PIB	Producto Interior Bruto
AENA	Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea
FAA	Federal Aviation Administration
PAX	Pasajeros
PHP	Pasajeros Hora Punta
NPST	Número Plazas de parking Corta Estancia (<i>short-term</i>)
NPLT	Número Plazas de parking Larga Estancia (<i>long-term</i>)
SAM	Plataforma de movimentación horizontal
ELV	Elevador
PA	Puerta Automática
MG	Mesa de Giro
GSD	Datos Maestros del Equipo para Profibus
GSDML	Datos Maestros del Equipo para Profinet
CC	Corriente Continua

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes – <i>Background</i>	2
1.2. Tipos de aparcamientos.....	3
1.2.1. Comparativa entre aparcamiento automatizado y convencional	4
1.2.2. Resumen entre tipos de aparcamiento	5
1.3. Justificación del proyecto	5
1.4. Automatización industrial	6
1.4.1. Definición.....	6
1.4.2. Objetivos de la automatización.....	7
1.4.3. Evolución histórica.....	7
1.4.4. Estructura de un sistema automatizado.....	9
1.4.4.1. Sistema de control en lazo abierto	9
1.4.4.2. Sistema de control en lazo cerrado	10
1.4.4.3. Sistema de control por autómeta	11
1.4.5. Elementos principales.....	13
1.4.5.1. Autómatas lógicos programables – PLC:	13
1.4.5.2. Motores y variadores de frecuencia	15
1.4.5.3. Sensórica y posicionamiento.....	15
1.4.6. Sistemas integrables a una automatización	16
1.4.6.1. Sistema SCADA/HMI:	16
1.4.6.2. Sistema Gestión Automatizado – SGA	18
CAPÍTULO 2. ANÁLISIS PREVIO Y PLANTEAMIENTO.....	20
2.1. Localización inicial	20
2.2. Previsión de demanda Aeropuerto Ibiza	21
2.2.1. Justificación del método de previsión	21
2.2.2. Procedimiento de una previsión econométrica	22
2.2.3. Estudio previsión de demanda.....	22
2.3. Impacto en la sociedad de un Aparcamiento Automatizado	23
2.3.1. Análisis e Interpretación de la muestra.....	23
2.3.2. Relación entre la sociedad y el uso del vehículo	23
2.3.3. Conocimiento sobre aparcamientos automatizados	26
2.3.4. Aparcamiento Automatizado en un Aeropuerto	27
2.4. Dimensionamiento del aparcamiento	28
2.4.1. Planteamiento.....	28
2.4.2. Dimensionamiento para el Aeropuerto de Ibiza	29

2.4.3. Dimensionamiento simplificado	32
CAPÍTULO 3. MÉTODOS UTILIZADOS	33
3.1. Hardware	33
3.1.1. Sensores inductivos.....	33
3.1.2. Detectores	34
3.1.3. Finales de Carrera – FC	34
3.1.4. Telémetros láser y encoders absolutos	34
3.2. Software	35
3.2.1. Herramientas desarrollo mecánico	35
3.2.2. Herramientas desarrollo eléctrico	35
3.2.3. Herramientas representación y planos	36
3.2.4. Herramientas de automatización	36
CAPÍTULO 4. DISEÑO DEL APARCAMIENTO	38
4.1. Planteamiento inicial	38
4.2. Distribución del aparcamiento.....	39
4.3. Arquitectura de red del sistema	42
4.4. Diseño mecánico.....	44
4.4.1. BOX	44
4.4.1.1. Puerta automática	44
4.4.1.2. Mesa de giro	45
4.4.2. Plataforma de movimentación horizontal – SAM	46
4.4.3. Elevador	49
4.5. Elementos de diseño principales.....	50
4.5.1. Autómata lógico programable – PLC	50
4.5.2. Variadores de frecuencia y motores	51
4.5.2.1. Variadores de frecuencia	51
4.5.2.2. Motores	54
4.6. Desarrollo Programación del PLC.....	54
4.6.1. Secuencias de los procesos – Grafcets.....	56
4.6.2. Maniobras.....	63
4.6.2.1. FC7 – Maniobra BOXES	63
4.6.2.2. FC8 – Maniobra Mesa de Giro	64
4.6.2.3. FC9 – Maniobra SAM.....	65
4.6.2.4. FC6 – Maniobra Elevador	66
4.6.2.5. FC5 – Posiciones en celdas.....	66
4.6.2.6. FC11 – Ocupación en nichos	66
4.6.3. Secuencias	66

4.7.	Desarrollo Sistema SCADA	67
4.8.	Cálculo del ciclograma del aparcamiento.....	69
4.8.1.	Ciclograma global de los procesos	70
4.8.1.1.	Ciclograma proceso de entrada	71
4.8.1.2.	Ciclograma proceso de salida	72
4.9.	Análisis de resultados	73
4.10.	Trabajos futuros	76
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES		78
BIBLIOGRAFIA		79
ANEXO 1 - ESTUDIO PREVISIÓN DE DEMANDA		82
A1.1.	Previsión 1 – PAX vs Turismo y Población.....	83
A1.2.	Previsión 2 – PAX vs PIB y Población.....	87
A1.3.	Previsión 3 – PAX vs Turismo y PIB.....	89
A1.4.	Comparativa con Plan Director Aeropuerto	91
A1.5.	Cálculo Pasajeros Hora Punta – PHP	91
ANEXO 2 – CÁLCULOS		93
A2.1.	Puerta Automática	94
A2.3.	Mesa de Giro	94
A2.4.	Plataforma de movimentación horizontal.....	97
A2.2.	Elevador	98
ANEXO 3 – PLANIFICACIÓN TFG		100
ANEXO 4 – PRESUPUESTO ECONÓMICO		101

TABLA DE FIGURAS

Figura 1.1. Aparcamiento convencional.	3
Figura 1.2. Aparcamiento automatizado.....	3
Figura 1.3. Ejemplo de Sistema de Control en lazo abierto.	10
Figura 1.4. Ejemplo de Sistema de control en lazo cerrado.	11
Figura 1.5. Sistema de control centralizado. [23]	11
Figura 1.6. Sistema descentralizado. [23]	12
Figura 1.7. Sistema distribuido. [23]	12
Figura 1.8. Diagrama y arquitectura de un PLC. [23]	14
Figura 1.9. Funcionamiento VDF [4].....	15
Figura 1.10. Sistema SCADA de una planta depuradora de aguas.	17
Figura 1.11. Interfaz de usuario Sistema de Gestión Automatizado [5].....	19
Figura 1.12. Arquitectura física SGA.	19
Figura 2.1. Vista aérea Aeropuerto de Ibiza.	21
Figura 2.2. Previsión tráfico aéreo Aeropuerto de Ibiza.	22
Figura 2.3. Frecuencia de uso del vehículo.....	24
Figura 2.4. Lugar de estacionamiento del vehículo.	25
Figura 2.5. Lugares donde nos desplazamos con vehículo privado.....	25
Figura 2.6. Resultado a la pregunta de aparcar o no en un aparcamiento automatizado.....	26
Figura 2.7. Respuesta a la pregunta de si un aparcamiento automatizado es el sistema de aparcamiento del futuro.	27
Figura 2.8. Ubicaciones con posibilidad de éxito de un aparcamiento automatizado según los encuestados.	28
Figura 2.9. Superficie disponible para la realización del aparcamiento.....	31
Figura 3.1. Sensor inductivo Schneider Electric 20-264V.	33
Figura 3.2. Detectores Schneider Electric, 24-240V.....	34
Figura 3.3. FC Telemecanique, 24-240V.	34
Figura 3.4. Telémetro laser SICK.	35
Figura 3.5. Encoder absoluto SICK.	35
Figura 3.6. Ejemplo lenguaje de programación KOP.	37
Figura 3.7. Ejemplo lenguaje de programación AWL.	37
Figura 4.1. Esquema sistema de aparcamiento automatizado.....	38
Figura 4.2. Layout de la Planta 0 del aparcamiento.	40
Figura 4.3. Layout Planta 1 del aparcamiento.	40
Figura 4.4. Layout Planta 2 del aparcamiento.	41
Figura 4.5. Layout Planta 3 del aparcamiento.	41
Figura 4.6. Configuración arquitectura de red en TIA.....	43
Figura 4.7. Prototipo puerta automática 1.	45
Figura 4.8. Prototipo puerta automática 2.	45
Figura 4.9. Prototipo 1 mesa de giro.	46
Figura 4.10. Prototipo 2 mesa de giro.	46
Figura 4.11. Electroviás en línea de montaje de automoción.....	46
Figura 4.12. Tramo de electrovía VKS10-VAHLE [11].	47
Figura 4.13. Prototipo de SAM.	47
Figura 4.14. Carro del SAM posición entrega vehículo en celda.....	48
Figura 4.15. Sistema de rodillos neumáticos SAM.	48
Figura 4.16. Prototipo de posicionador SAM.	49
Figura 4.17. Configuración archivos GSDML Controller 3221C.	52

Figura 4.18. Instalación 3221C en arquitectura del sistema.....	52
Figura 4.19. Conexión variadores plataforma de movimentación horizontal. ...	53
Figura 4.20. Telegrama comunicación entre S7-1500 y 3221C.	54
Figura 4.21. Bloques de programa utilizados.	55
Figura 4.22. Grafcet general, secuencia del proceso de entrada.....	57
Figura 4.23. Grafcet acción coger coche BOX 1, secuencia del proceso de entrada.....	58
Figura 4.24. Grafcet acción entrega coche a celda, secuencia del proceso de entrada.....	59
Figura 4.25. Grafcet general, secuencia del proceso de salida.....	60
Figura 4.26. Grafcet acción entrega coger coche nicho, secuencia del proceso de salida.....	61
Figura 4.27. Grafcet acción de entregar coche a BOX 2, secuencia del proceso de salida.....	62
Figura 4.28. Movimiento avanzar SAM, movimiento traslación plataforma.	65
Figura 4.29. Layout SCADA aparcamiento diseñado.	67
Figura 4.30. Panel Operador BOX 1.	68
Figura 4.31. Panel Operador SAM.	68
Figura 4.32. SCADA secuencias entradas y salidas.	68
Figura 4.33. Simulación tiempo real avanzar SAM. PLC+SCADA.	74
Figura 4.34. Ocupación celdas del aparcamiento en tiempo real. PLC+SCADA.	75
Figura 4.35. Detección tiempo real inputs sensórica. PLC+SCADA.	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Comparativa entre aparcamiento automatizado y convencional.	5
Tabla 1.2. Comparativa autómatas gama SIMATIC de Siemens [17]	14
Tabla 4.1. Elementos para comunicar datos por cable.	43
Tabla 4.2. Elementos para comunicar datos inalámbricamente.	43
Tabla 4.3. Ciclograma Secuencia del proceso de entrada.	71
Tabla 4.4. Ciclograma Secuencia del proceso de salida.....	73

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo y conceptos claves de un aparcamiento automatizado son tres: **fomentar el máximo confort del usuario, optimizar el espacio por cada celda de estacionamiento y reducir el tiempo de ciclo** de cada operación, a través de la reducción de las maniobras a realizar, así como las interconexiones entre las diferentes máquinas aparcamiento.

Existen diferentes grados de automatización en un aparcamiento, es decir, pueden ser más o menos dependientes. A mayor grado de automatización, más independiente es el aparcamiento. Por consiguiente, a menor grado de automatización, más interviene el humano en el proceso y más dependiente es la instalación.

Este proyecto **pretende lograr la automatización de un aparcamiento con dimensiones reducidas, realizando un diseño modular y escalable** al dimensionamiento correcto para el aeropuerto de diseño o para otros campos de aplicación, dado el caso. Se pretende realizar una automatización utilizando técnicas y tecnología de desarrollo de procesos automatizados y secuenciales como los que se desarrollan en la actualidad, obteniendo un resultado competitivo y con salida a nivel profesional. De ahí que se utilicen autómatas programables de Siemens, dominadores en muchas de las grandes plantas industriales en la actualidad, siendo ejemplos Grupo Volkswagen y Mercedes.

Una de las aplicaciones interesantes que se ha encontrado ha sido el poder automatizar un aparcamiento de un aeropuerto, ya que no es algo muy común y que puede ser atractivo de cara a un futuro no muy lejano, al ser grandes superficies con un volumen importante de usuarios en franjas temporales localizadas, además de concentrarse en espacios reducidos y limitados.

Dentro del sistema automatizado de aparcamiento desarrollado hay 3 bloques principales: desarrollo de la programación lógica de las maniobras de las máquinas del aparcamiento, desarrollo de un sistema SCADA (visualización y control) de los procesos de las maniobras de las máquinas y simulación de ambos desarrollos, asociados a los procesos de entrada y salida de vehículos del aparcamiento. Para el desarrollo de la automatización se ha utilizado la herramienta de programación de autómatas del fabricante Siemens, Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal).

El proyecto se ha realizado conjuntamente con un proyecto de I+D en una empresa externa a la universidad. El departamento de diseño mecánico de la empresa es el desarrollador de las máquinas del aparcamiento, que se muestran algunos bocetos y diseños durante la memoria presentada y que sirven para comprender los procesos y ciclos programados en el sistema automatizado que se ha desarrollado en este proyecto.

La conclusión principal extraída del proyecto es que se trata de un sistema de aparcamiento innovador, que tiene muchos aspectos positivos que aportar a un desarrollo futuro en cuanto al ordenamiento urbanístico y de zonas con alta densidad de usuarios. Por ello, es un ítem de investigación que presenta mucho

potencial de valor tecnológico y, por consiguiente, por el que apostar fuerte dentro del desarrollo del concepto de las *Smart Cities* y de la *Industria 4.0*.

1.1. Antecedentes – *Background*

La iniciativa de desarrollar un sistema de aparcamiento automatizado surge de la necesidad creciente de optimizar el espacio en zonas urbanas muy densas, sitios donde los problemas de ordenación urbana son suficientes como para que se empiecen a tener en cuenta y se optimice el espacio. La densidad de población se relaciona directamente con la afluencia de vehículos, es decir, con un tráfico elevado. Un elevado tráfico es motivo de problemas en la circulación, dificultad de ordenamiento en el flujo del tráfico, crecimiento exponencial de las recirculaciones innecesarias (realizar un mismo circuito repetidas veces por no encontrar aparcamiento, por ejemplo) que se podría reducir con un buen control del flujo de vehículos. Por ello, aparece la propuesta de apostar por el desarrollo de aparcamientos automatizados, atendiendo a las necesidades expuestas anteriormente. El motivo de apostar por un aparcamiento automatizado en lugar de uno convencional para solventar los problemas comentados, está en tratar de reducir el espacio utilizado para resolver los problemas de búsqueda de aparcamiento que aparecen en lugares con una densidad de tráfico considerable. Con los aparcamientos automatizados el espacio utilizado para ofrecer el aparcamiento requerido en la zona será inferior.

A día de hoy, se puede llegar a conocer lo que es un aparcamiento automatizado o robotizado¹ de forma genérica y no con mucha profundidad. Es cierto que en algunas zonas geográficas como Japón o China es un sistema de aparcamiento más utilizado, pero en Europa todavía no se utiliza mucho, excepto en países como Alemania, Reino Unido y Francia, que están algo más desarrollados. En Japón, en el año 2011, se superaba ya el millón de plazas de aparcamiento automatizado [1]. A pesar de ello, en los últimos años se está dando más a conocer y es cierto que la tendencia de realizar aparcamientos de este tipo está en aumento.

De forma estimativa, en el 2011 en Japón el porcentaje de plazas de aparcamiento automatizado respecto a la población es de un 0,78%, mientras que en la capital de Madrid está en el 0,05% [1]. Aunque son estimaciones al alza y con muchos aspectos significativos pasados por alto la diferencia es significativa, el objetivo debe ser aumentar este tipo de aparcamiento y, acercarse a países asiáticos como Japón y China que han desarrollado más este tipo de aparcamientos.

De ahí que la propuesta de investigar y desarrollar un proyecto de diseño de un prototipo de aparcamiento automatizado, modular y escalable a cualquier tipo de dimensionamiento y requisitos de diseño que se establezcan resulte una apuesta coherente y viable en un futuro muy cercano e incluso en la misma actualidad.

¹ : Aparcamiento automatizado o robotizado: Durante todo el documento, se utilizará indistintamente aparcamiento automatizado o aparcamiento robotizado, refiriéndose a los mismos términos.

1.2. Tipos de aparcamientos

En la actualidad existen dos grandes tipos de aparcamiento como son los convencionales y los automatizados.

Actualmente, los aparcamientos convencionales son los que se ven con más frecuencia en cualquier lugar. Se denomina aparcamiento convencional a los aparcamientos donde el propio usuario accede con su vehículo a la instalación y busca una plaza libre donde estacionar. Cualquier centro comercial tiene un aparcamiento de los llamados convencionales, ya sea subterráneo o en superficie. Muchos centros de trabajo, también, presentan estos aparcamientos, en núcleos urbanos y en muchos otros lugares. En las [Figura 1.1](#) y [Figura 1.2](#) se pueden ver, a nivel visual, las diferencias más notables entre un tipo de aparcamiento y otro.

Un aparcamiento automatizado presenta una filosofía totalmente diferente, siendo un sistema formado por un conjunto de máquinas accionadas por un sistema de control. El conjunto de acciones con una secuencia de movimientos lógica y planificada hace posible que el vehículo quede almacenado dentro de la instalación sin la ayuda o presencia humana, de manera totalmente autónoma.



[Figura 1.1.](#) Aparcamiento convencional.



[Figura 1.2.](#) Aparcamiento automatizado.

A continuación, se detallan las ventajas y desventajas que presenta un aparcamiento automatizado, frente a los aparcamientos convencionales. Con éstas, se pretende dar pie a la posterior justificación que plantea la sustitución parcial de los aparcamientos automatizados por los convencionales en un futuro próximo, ya que se intuye que los aparcamientos automatizados son el futuro y que sustituirán progresivamente a los aparcamientos convencionales.

1.2.1. Comparativa entre aparcamiento automatizado y convencional

Un parking automatizado es una solución al aparcamiento de vehículos que cumple con las expectativas de optimización del espacio si se compara con un parking convencional. Según diversas fuentes de información, el ahorro de volumen y superficie que presentan los aparcamientos automatizados en comparación con los convencionales está alrededor de un 40% y un 50% [2]. Esto conlleva también a un importante ahorro en costes de estructura y obra civil que amortizan el coste de la inversión a realizar para integrar el sistema de control y maquinaria asociada al aparcamiento automatizado.

El RSI² que obtiene una empresa en la explotación de usuarios en rotación del aparcamiento es de un 8% en el peor de los casos y hasta un 15% en el mejor de los casos. En cambio, en un aparcamiento convencional está alrededor de un 5% en el mejor de los casos. Por tanto, a nivel de explotación empresarial también es beneficioso la implantación de este modelo de aparcamiento automatizado. En cuanto a los costes que supone para el usuario, según diferentes tarifas de aparcamientos en diferentes ciudades, son precios similares respecto a un aparcamiento convencional, de forma que el usuario no percibe diferencias.

Además de la preocupación actual entorno al espacio utilizado en los núcleos urbanos, se presenta otro aspecto muy importante y que preocupa mucho a la sociedad. Se trata de la afección ambiental que tienen las emisiones, la contaminación que produce la sociedad sobre el medio ambiente. Un aparcamiento automatizado ayuda a reducir las emisiones de los vehículos de manera considerable, ya que el motor del vehículo se apaga al llegar a la entrada del aparcamiento [2]. Con ello, se evitan las interminables circulaciones de vehículos por los pasillos del aparcamiento en búsqueda de una plaza libre y realizando emisiones contaminantes al medio ambiente.

Como ampliación a las ventajas expuestas, también es importante tener en cuenta el tiempo previsto en el que se espera aparcar el vehículo. Los procesos de entrada y salida de vehículos en los aparcamientos automatizados se consiguen en un tiempo inferior al invertido en uno convencional. De esta manera, se está mejorando considerablemente la calidad de servicio ofrecida al usuario. El proceso es simple, directo y ordenado secuencialmente de forma que desaparecen las iterativas vueltas buscando aparcamiento, el sistema transporta el vehículo directamente a la celda libre. Teniendo en cuenta que el tiempo medio para encontrar una plaza libre a nivel mundial es de 20 minutos y en grandes ciudades se estima entre 31 y 40 minutos, dotar de sistemas de aparcamiento automatizado a núcleos urbanos es una magnífica solución. [22]

Por último, cabe destacar también la seguridad y protección que tienen los vehículos en este tipo de aparcamientos, donde el acceso a la zona de

² RSI: es una razón financiera que compara el beneficio o la utilidad obtenida en relación a la inversión realizada, es decir, «representa una herramienta para analizar el rendimiento que la empresa tiene desde el punto de vista financiero».

aparcamiento está restringido a personal de seguridad o mantenimiento, pero en ningún caso a personas ajenas al servicio del aparcamiento.

Por todo esto, no solo se trata de optimizar el espacio del aparcamiento, también de realizar edificaciones e infraestructuras con un diseño sostenible, que cuide el nivel de contaminación, que priorice la comodidad del usuario y que reduzca su tiempo invertido en estacionar y recoger su vehículo.

1.2.2. Resumen entre tipos de aparcamiento

A continuación, en la [Tabla 1.1](#) se muestra una comparación de las diferencias existentes entre un aparcamiento automatizado y uno convencional, reflejándose los aspectos positivos que aportan y hacen mejorar los aparcamientos automatizados.

Tabla 1.1. Comparativa entre aparcamiento automatizado y convencional.

Características	Aparcamiento automatizado	Aparcamiento convencional
Seguridad	No presencia humana en el interior, se evitan actos vandálicos y robos.	Hay presencia de personas externas, puede haber actos vandálicos y robos.
Búsqueda de aparcamiento	Es directa, sistema tiene control sobre las celdas libres.	No hay conocimiento exacto de las celdas libres, se generan recirculaciones.
Dificultad en encontrar accesos y salidas	Es directa, el sistema tiene sus coordenadas.	Señalización insuficiente para algunos usuarios.
Tiempo de ciclo en entradas y salidas	Rutas directas causan tiempos de ciclo óptimos.	Rutas no directas y recirculaciones causan tiempos de ciclo mayores.
Número de estacionamientos	Menor espacio por celda causa que haya más celdas.	Mayor espacio por celda causa que haya menos celdas.
Consumo energético	Menor	Mayor
Inversión inicial instalación	Menor	Mayor
Beneficio de explotación	Mayor	Menor

1.3. Justificación del proyecto

En relación con la comparativa realizada en el [Apartado 1.2](#), se pasa a justificar el interés real que tiene el desarrollo de aparcamientos automatizados en la sociedad, haciendo que sea una solución factible para la distribución y ordenamiento urbanísticos de las ciudades y zonas con picos de demanda de aparcamiento. A continuación, se detallan los puntos clave que justifican el realizar un aparcamiento automatizado, ofreciendo datos y estudios contrastados:

- Optimización directa del 40-50% del espacio para el mismo número de celdas de aparcamiento [2], tal y como se había ya comentado en el apartado anterior y siendo un punto muy a favor para potenciar los aparcamientos automatizados.

- Necesidad de crear nuevos estacionamientos, dada la situación observable en núcleos urbanos. Prueba de esto es el dato de que más del 18% de los vehículos que circulan por las calles españolas lo hacen porque no encuentran sitio para aparcar y buscan un estacionamiento. [3]
- En uno de los últimos congresos de carácter internacional realizado (16º Congreso Europeo de Aparcamiento, EPA, que tuvo lugar en septiembre de 2013 en Dublín) se recogen algunas ideas y mensajes clave de cara al futuro y que justifican claramente la idea y motivación del proyecto [3]:
 - *“El aparcamiento incontrolado puede tener una consecuencia negativa en el desarrollo urbano y puede llevar a una expansión urbana no ordenada.”*
 - ✖ Los aparcamientos convencionales favorecen esta consecuencia al haber incertidumbre sobre dónde encontrar aparcamiento y provoca también un aumento incontrolado del tráfico alrededor.
 - ✓ Por ello, se debe favorecer este nuevo sistema de aparcamiento robotizado, donde el aparcamiento está totalmente controlado y desaparece la incertidumbre y la recirculación innecesaria. Esto conlleva también que la expansión urbana de los alrededores sea como se planifica en los estudios teóricos, favoreciendo una expansión urbana ordenada.
 - *“Ninguna política de movilidad será exitosa si no incorpora una buena estrategia de aparcamiento”.*
 - ✓ La estrategia de aparcamiento se lleva a su máximo exponente con los aparcamientos automatizados, donde se tiene conocimiento exacto de la ocupación de cada una de las celdas de la instalación. Esto conlleva a que no haya recirculaciones.

1.4. Automatización industrial

De manera introductoria y para poner en contexto de situación, se realiza una breve descripción de los conceptos básicos entorno a la automatización industrial, siendo ésta la temática principal que afecta al desarrollo software de la automatización del aparcamiento que se plantea en este proyecto.

1.4.1. Definición

La automatización industrial se define como la facultad de autonomía o la acción de operar por sí solo que poseen los procesos industriales. Por tanto, es el conjunto de métodos y procedimientos para la sustitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas para que las realicen “máquinas”. Con esto, al ser las actividades de producción realizadas a través de acciones

autónomas, la participación humana y la utilización de su fuerza física y mental es mínima, potenciando el uso de la inteligencia artificial de las máquinas y equipos de hardware con software asociado que se instalan.

Cuando utilizamos el término de proceso, se entiende como aquella parte del sistema en que, a partir de la entrada de material, energía e información, se genera una transformación sujeta a perturbaciones del entorno, que da lugar a la salida de material en forma de producto.

La Automatización Industrial es la aplicación de diferentes tecnologías para controlar y monitorear un proceso, máquina, aparato o dispositivo que por lo regular cumple funciones o tareas repetitivas, haciendo que opere automáticamente y reduciendo al mínimo la intervención humana. Se busca generar la mayor cantidad de producto, en el menor tiempo posible, con el fin de reducir los costes y, además, garantizar una uniformidad en la calidad del producto realizado.

1.4.2. Objetivos de la automatización

Por tanto, según los conceptos que se entienden como automatización industrial, se pueden extraer una serie de objetivos principales de esta facultad de trabajo, procedimiento de fabricación:

- Reducir la mano de obra humana.
- Se suprimen los trabajos peligrosos o pesados para las personas, que conlleva a una mejoría de las condiciones de trabajos del operario.
- Simplificar el trabajo a lo más simple posible.
- Obtener la máxima eficiencia, de forma que se disminuya la fabricación de piezas defectuosas.
- Toda esta eficiencia comentada y simplificación de trabajo debe ir asociada a una mayor calidad del producto fabricado siempre, no es válido ganar eficiencia y simplificar los procesos obteniendo un producto de menor calidad.
- Con estas premisas comentadas anteriormente, obtendremos asociado un incremento en la productividad y en la competitividad.
- Todo esto, debe ir asociado y/o integrado con los sistemas empresariales propios de la empresa a la que se aplique este concepto de automatización industrial.

1.4.3. Evolución histórica

En un principio los métodos de fabricación industrial eran manuales, realizándose piezas únicas y diferentes unas de otras, ya que un operario no podía realizar todas las piezas iguales. Además de las diferencias entre las diferentes piezas que se fabricaban, la velocidad de producción de un operario no era comparable con la que tienen los sistemas automatizados que existen

actualmente. Por tanto, los procesos de producción manuales eran lentos en comparación con los automatizados.

El coste que supone tener a un operario especializado es más elevado que lo que supondría tener a una máquina en su lugar. La máquina tendrá una inversión inicial más elevada al adquirirse y tenerse que instalar, configurar e integrar en el sistema, pero una vez asumidos estos costes el mantenimiento es mínimo y los costes energéticos que pueda también lo son en comparación con el precio hora que puede suponer tener a una persona en ese puesto.

Por todos estos motivos y desventajas que se han comentado que tiene la fabricación manual surgió la necesidad de automatizar las producciones y fabricaciones. Esta necesidad empieza a hacerse visible a finales del siglo XVIII en el sector textil inglés.

Al principio eran sistemas muy complejos y por consiguiente caros de diseñar, construir y mantener. Por ello, solo eran aplicables a unas producciones repetitivas de grandes cantidades de piezas iguales. Pretendiendo que las inversiones en el diseño de la automatización de los procesos industriales fuera menor, se avanzó en el modelo de la aplicación de técnicas lógicas que permite automatizaciones selectivas y eso conlleva a inversiones iniciales menores.

En sus comienzos, también se extendió mucho la utilización de sistemas cableados a base de relés que tenían inconvenientes como la poca flexibilidad para realizar modificaciones o ampliaciones posteriores, ya que sería necesario volver a cablear las instalaciones. Otros inconvenientes significativos de los sistemas cableados a base de relés es el gran espacio que ocupan, que es difícil identificar averías y resolverlas y que no se adaptan de forma óptima a tareas algo más complejas. La inserción más masiva de la electrónica que hubo posteriormente en Europa empezó a sustituir los sistemas cableados a base de relés. Con los avances que hubo en el sector de la electrónica, se mejoró significativamente en términos de fiabilidad y se disminuyó también el espacio empleado y los costes. Fiabilidad, espacio y precio son factores muy importantes en cualquier tipo de diseño; este hecho supuso que ganaran terreno de forma muy rápida a los relés convencionales.

Como consecuencia de la nueva electrónica desarrollada surgen los circuitos integrados (CI) y con ello las tarjetas y sistemas electrónicos crecen en dificultad. Esta complejidad causa que estos nuevos métodos sigan sin resolver uno de los problemas que tenían los sistemas cableados de relés, la difícil identificación y reparación de las averías y las posibles modificaciones y ampliaciones que se quieran hacer a posteriori.

Finalmente, a finales de los años 60, aparecen los PLC. Estos autómatas programables fueron diseñados principalmente para aplicar sus soluciones en el mundo de la automatización industrial y se adaptan a la perfección en estos ambientes. Fue una solución brillante por entonces y actualmente siguen siendo la herramienta más utilizada en la automatización industrial. Los autómatas programables industriales se definen como un equipo de hardware electrónico que es programable por personal especializado y que ha sido diseñado para

controlar en tiempo real y en ambientes industriales todo tipo de procesos secuenciales.

Estos equipos presentan numerosos y significativos aspectos positivos y, por ello, hoy en día siguen siendo los más utilizados, ganando prácticamente todo el protagonismo a los microcontroladores. Entre estos aspectos, se citan algunos a continuación:

- Son flexibles.
- Pueden integrar funciones sencillas, pero también complejas.
- Disminuyen su coste de forma progresiva con la dimensión de la instalación en la que se integran.
- Aumentan la seguridad de funcionamiento del sistema.
- Permiten la posibilidad de descentralizar el control y la conexión de actuadores y sensórica. Actualmente se opta por diseños modulares en los que se pueden ir agregando más o menos módulos al núcleo central del PLC en función de las necesidades concretas de la instalación. Esto resulta muy útil, como se verá más adelante.

1.4.4. Estructura de un sistema automatizado

1.4.4.1. Sistema de control en lazo abierto

Son aquellos sistemas en que la salida del sistema, que es la acción del controlador o actuador al final del proceso, no se analiza. Es decir, no se compara la salida obtenida del sistema con el valor que se espera que tenga la salida.

Según esta definición, podemos afirmar que no existe una retroalimentación o más conocida como *feedback*. La retroalimentación nos permitiría retornar el valor de salida al controlador del sistema para que ajuste o corrija los valores de entrada, de forma que el valor de salida se ajuste más al valor de salida deseado. Un ejemplo muy común que seguro que todos han observado y conocen, podría ser el sistema de aire acondicionado o calefacción de un vehículo, que si se enciende el coche se enfriará o calentará respectivamente de forma progresiva hasta que no se pare de forma manual. La temperatura, por tanto, irá aumentando o disminuyendo hasta el paro del sistema.

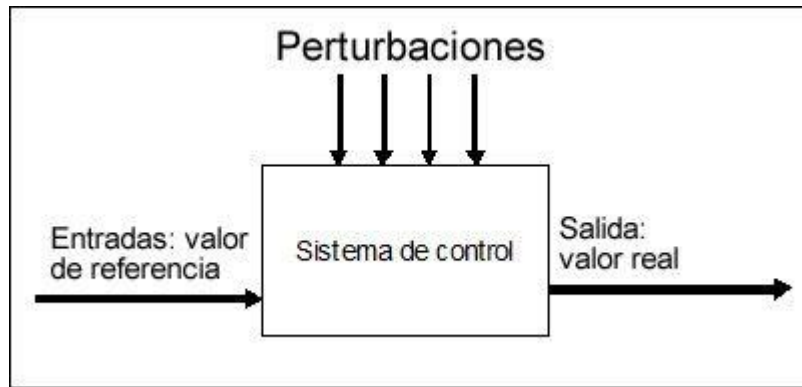


Figura 1.3. Ejemplo de Sistema de Control en lazo abierto.

Como se puede observar en la [Figura 1.3](#), hay perturbaciones que entran al sistema de control y que, lógicamente tienen sus consecuencias en la salida del sistema que hacen que el valor de salida se aleje de la consigna deseada. El sistema de control, al ser de lazo abierto, no corrige estas perturbaciones, no actúa sobre ellas.

En conclusión, este tipo de sistema tan solo es utilizado en aplicaciones sencillas y con costes reducidos, donde no se necesita un resultado muy óptimo y donde el margen de error es amplio. También resulta útil su empleo cuando el sistema está todo momento supervisado por el operario y la salida sea fácilmente detectable por éste, de forma que pueda controlar manualmente las acciones sobre el sistema.

1.4.4.2. Sistema de control en lazo cerrado

En estos sistemas de control, en cambio, sí que hay un control y ajuste en función del valor de la señal de salida que se obtiene (ver [Figura 1.4](#)). El controlador emite una acción a la entrada del sistema que viene determinada en función del error medido entre la variable controlada y la consigna deseada.

En un control de lazo cerrado sí que son consideradas las perturbaciones, pues se ven reflejadas en el error medido a la salida del sistema respecto a la consigna deseada y en función de este error el controlador actúa de nuevo sobre el sistema, gracias a la retroalimentación del sistema.

Evidentemente, las soluciones de sistemas de control actuales se suelen decantar más por este tipo de control, quedando en desuso los de lazo abierto o utilizados en aplicaciones muy sencillas que requieren una precisión o calidad en la señal de salida muy bajas.

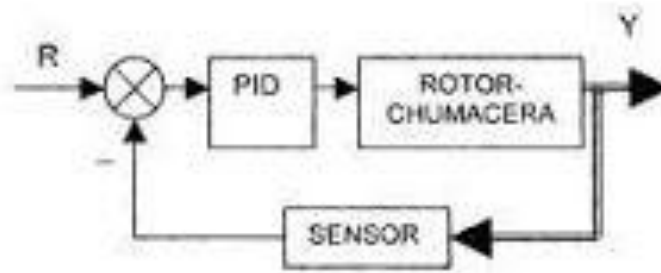


Figura 1.4. Ejemplo de Sistema de control en lazo cerrado.

Al ser el tipo de sistema de control en lazo cerrado el más utilizado en la actualidad, será el que se estudiará con mayor profundidad y sobre el cual se desarrolla el sistema de automatización del parking robotizado. Además, los PLC's actuales la mejor opción es utilizarlos en lazo cerrado ya que de lo contrario, estaríamos desaprovechando casi en su totalidad el rendimiento y eficiencia que nos pueden ofrecer y, por tanto, estaríamos desaprovechando la inversión económica realizada en parte. Los autómatas programables están preparados para tener gran cantidad de sensórica, elementos de detección, elementos de posicionamiento y corrección de forma que permiten estudiar el comportamiento de los actuadores y en función de ello ejecutar unas u otras acciones implementadas en el autómata. De hecho, el control de los sistemas automatizados de la actualidad sería muy complejo, debido al reducido margen de error y las numerosas interferencias y perturbaciones que existen al no estar aislado el sistema.

1.4.4.3. Sistema de control por autómata

La estructura de un sistema de control por autómata puede ser de 3 tipos principalmente, como se detalla a continuación:

a) Sistema centralizado:

En sistema de automatización de pequeña envergadura la instalación de un solo autómata lógico programable es suficiente, de forma que toda la instalación, secuencias y procesos depende de este autómata instalado que actúa como master y único controlador de la instalación.

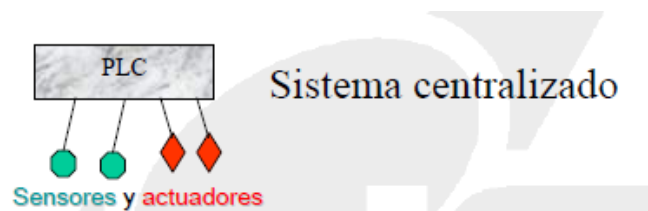
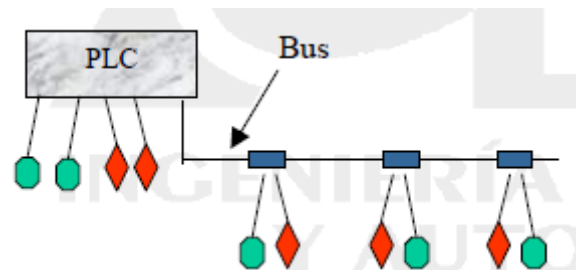


Figura 1.5. Sistema de control centralizado. [23]

Como se puede apreciar en la [Figura 1.5](#), la totalidad de sensórica y elementos actuadores que forman parte de la instalación se conectan directamente a los módulos de entradas y salidas del autómatas y son controlados por éste, siendo el único elemento controlador de la instalación.

b) Sistema descentralizado:

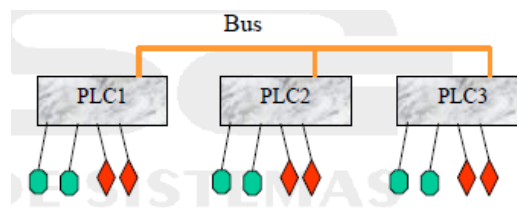
En este sistema, en cambio, algunos de los elementos de sensórica y actuadores están directamente conectados al autómatas, pero también existen otros dispositivos que se conectan a un bus previo que después desemboca en el autómatas programable. Siguen estando todos los elementos controlados por el mismo controlador, que es master del sistema, pero algunos dispositivos ya no están conectados al controlador directamente, sino que pasan previamente por un bus. Este sistema es más común que el anterior, aunque sea una instalación pequeña, ya que tendrá suficientes entradas y salidas a conectar como para que las propias E/S del autómatas no sean suficientes y deban conectarse módulos periféricos que hacen que el sistema quede descentralizado (ver [Figura 1.6](#)).



[Figura 1.6](#). Sistema descentralizado. [23]

c) Sistema distribuido:

En este otro sistema, aparecen más elementos de control dentro del sistema, de forma que no hay un único sistema master que controla la instalación (ver [Figura 1.7](#)). Todos ellos pueden dar órdenes de control y entre estos controladores se establece una comunicación a través de bus. Se recomienda que uno de los controladores siga siendo el elemento master, que controle a los otros controladores además de los elementos actuadores y sensórica. Esta es la distribución típica cuando la instalación a automatizar tiene una magnitud considerable y es necesario repartir en diferentes grupos o bloques el control del sistema.



[Figura 1.7](#). Sistema distribuido. [23]

1.4.5. Elementos principales

En este apartado se realiza una breve descripción de los elementos principales que tienen relación con un sistema automatizado típico.

1.4.5.1. *Autómatas lógicos programables – PLC:*

Se trata de un dispositivo electrónico digital con memoria digital (ya sea interna o a través de un medio extraíble como una tarjeta micro SD) para guardar instrucciones y realizar las funciones lógicas de configuración de secuencia, conteo y aritméticas, así como también el control de maquinaria y procesos.

Su principal campo de aplicación es la automatización en un ámbito industrial, controlando procesos y maquinaria industrial, dirigiendo los procesos secuenciales de las fabricaciones y montajes de la planta.

Un PLC presenta los siguientes elementos principales en su arquitectura: [19]

- CPU: Controla y procesa todas las operaciones realizadas por el autómata lógico programable.
- Reloj: Es la fuente de temporización y sincronización de todos los elementos del sistema. Su frecuencia típica oscila entre 1 y 8MHz.
- Sistema de bus: Hace que circule la información y datos entre la CPU, la memoria y las unidades de E/S en ambos sentidos.
- Memoria: Hay dos tipos de memoria: ROM y RAM. La memoria ROM almacena de forma permanente la información del sistema operativo y datos corregidos. La memoria RAM, en cambio, almacena el programa del usuario.
- Batería: En caso de que se corte el suministro de energía eléctrica, se encarga de mantener el contenido de la RAM por un determinado tiempo.
- Módulos de E/S: Es la interfaz entre el sistema y el exterior. En estos módulos de entrada es donde se conectan los interruptores, la sensórica, los elementos de detección, los elementos de posicionamiento, etc. En cambio, en los módulos de salida se conectan los motores, variadores de frecuencia, relés, lámparas, etc.
- Módulos de comunicación: Dentro del Módulo de Especiales, según la [Figura 1.8](#), engloba los módulos de control PID, contadores descentralizados, las cartas de comunicación, etc. Las cartas de comunicación son módulos indispensables y que permiten integrar diferentes protocolos de comunicación entre los equipos hardware que se comunican dentro del sistema.

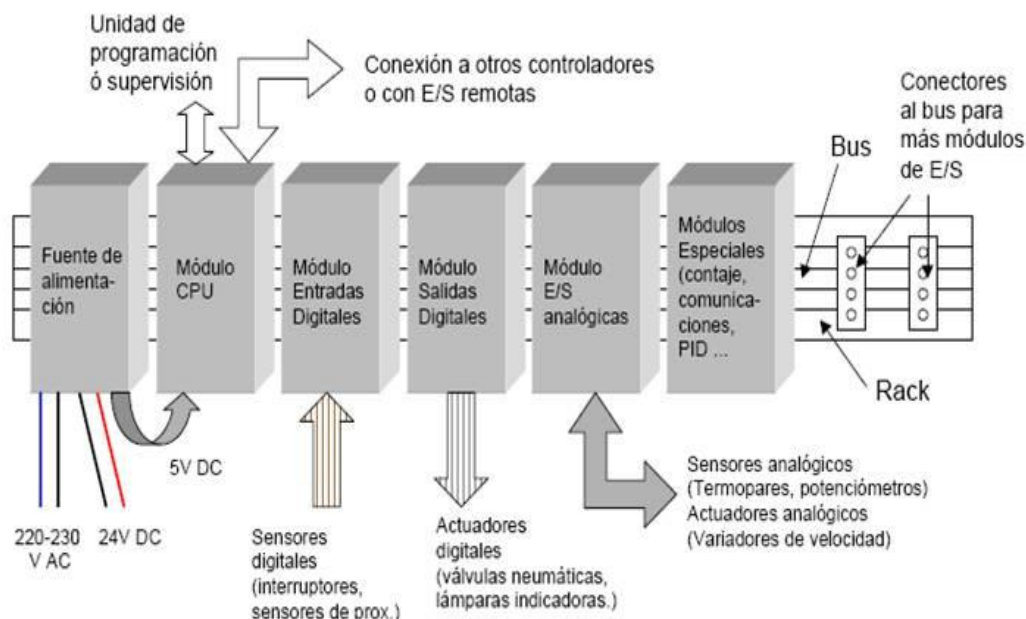


Figura 1.8. Diagrama y arquitectura de un PLC. [23]

Una de los principales fabricantes de PLC es la multinacional alemana Siemens, de la que se muestran en la [Tabla 1.2](#) los autómatas que actualmente tienen mayor utilización en el mercado.

Tabla 1.2. Comparativa autómatas gama SIMATIC de Siemens [17]

	S7-200	S7-300	S7-400	S7-1200	S7-1500
Memoria de trabajo	24 KB	2 MB	30 MB	125 KB	6 MB
Memoria de programa	10 KB	680 KB	15 MB	4MB	2 GB
Velocidad de operación	0.22 μ s/op*	0.004 μ s	0.018 μ s	0.085 μ s	0.01 μ s
Área de direcciones E/S máx.	E: 224 S: 224	E: 8192 S: 8192	E: 16384 S: 16384	E: 1024 S: 1024	E: 32000 S: 32000
Interfaces de comunicación	MPI	MPI/DP/PN	MPI/DP/PN	DP/PN	DP/PN
Software de programación	MicroWIN Step 7	STEP 7 PROF.	STEP 7 PROF.	TIA PORTAL	TIA PORTAL

En conclusión, se podría afirmar que dentro de los PLC de la gama SIMATIC de Siemens, los S7-1200 o su progenitor el S7-200 son autómatas programables con aplicación docente o de investigación, para pequeñas investigaciones y/o aplicaciones que se realicen en una universidad, por ejemplo. En cambio, cuando se requiere automatizar sistemas más complejos a nivel industrial, se debería utilizar dispositivos de la serie S7-1500 o los progenitores S7-300 y S7-400 y en función de la magnitud de la instalación utilizar los S7-1500 de mayor gama y los S7-400 en vez de los S7-300. A pesar de haberse desarrollado los nuevos modelos de SIMATIC (S7-1200 y S7-1500), sus progenitores no se han quedado desfasados y siguen teniendo un gran éxito y utilización y muchas de las

principales industrias siguen contando con estos autómatas en su planta de producción de forma que se tiene que seguir desarrollando procesos automatizados con estos productos. De todos modos, la tendencia es que se vayan sustituyendo y queden en desuso en un futuro, pero es un periodo largo y lento.

1.4.5.2. Motores y variadores de frecuencia

Uno de los elementos principales del sistema de aparcamiento son los motores de cada una de las máquinas, que son los que permiten la movimentación de estas máquinas. Hay algunos motores que, si son de fácil manejo y su funcionamiento es simple, podría bastar solo con un arrancador que active en un solo modo, velocidad o sentido el motor. Esto abarata considerablemente el coste del sistema, puesto que los variadores de frecuencia son componentes con costes elevado. En caso de ser complejo el control de los motores, se requiere de variador de frecuencia para su control. En el sector industrial, en la mayoría de los casos el control de los motores se realiza a través de variador de frecuencia.

Un variador de frecuencia (VDF) es un sistema para el control de la velocidad de un motor de inducción en corriente alterna por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. El VDF se alimenta a un voltaje y frecuencia constantes, pero entrega el voltaje y frecuencia de alimentación de forma variable al motor y con eso consigue modificar la velocidad del motor. (Ver [Figura 1.9](#)).

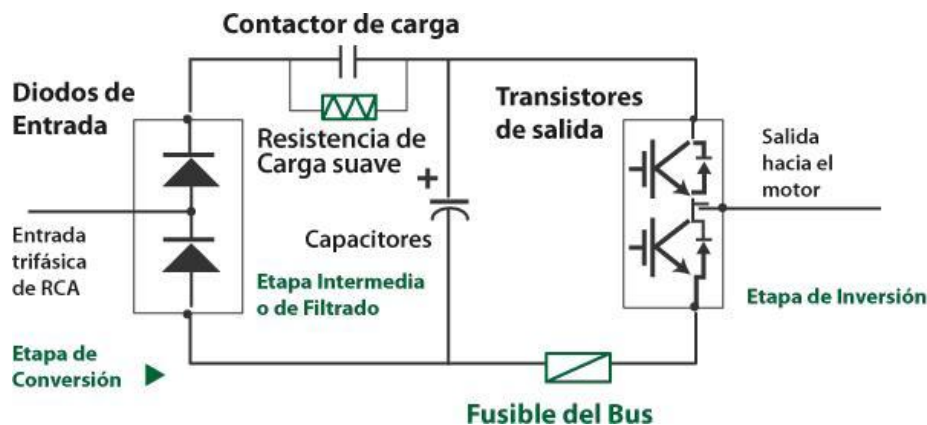


Figura 1.9. Funcionamiento VDF [4].

1.4.5.3. Sensórica y posicionamiento

En todo proceso de automatización es necesario captar las magnitudes del sistema, para que el autómata pueda saber el estado en que se encuentran los procesos y secuencias de la instalación. Por ello, los elementos de sensórica y de posicionamiento son una parte indispensable dentro del sistema de automatización y sin los cuales la retroalimentación del sistema de control en

lazo cerrado no sería posible. Elementos de sensórica puede haber de muchos tipos, entre los cuales, los analógicos y digitales son los más conocidos. Los sensores analógicos ofrecen una señal de salida analógica, mientras que los digitales una señal de salida digital y, en ambos casos la variable medida en la entrada es una magnitud física.

Los elementos de posicionamiento más habituales son encoders absolutos y telémetros láser, donde acostumbran a ofrecer como señal de salida al autómatas la posición relativa de un recorrido; estos equipos se explican en detalle en los métodos del proyecto, al ser elementos principales de un sistema automatizado de aparcamiento.

1.4.6. Sistemas integrables a una automatización

Además de los elementos fundamentales para desarrollar un sistema de control automatizado que se han descrito en los dos apartados anteriores, existen otros sistemas no fundamentales, pero si recomendables y que dotan de una mayor eficiencia y calidad de servicio en la instalación que se automatiza. Estos sistemas se integran al sistema ya automatizado y acaban operando de manera conjunta entre ellos. A continuación, se explican algunos de los sistemas que se consideran interesantes.

1.4.6.1. Sistema SCADA/HMI:

SCADA es una aplicación software de control de producción, que se comunica con los dispositivos de campo y controla el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. El sistema es capaz de proporcionar información del proceso a diversos usuarios como pueden ser operadores, supervisores de control de calidad, mantenimiento, etc. [21]

Los HMI son un tipo de software que se utiliza para la monitorización y control de procesos. Por tanto, las señales de los procesos se comunican hacia el sistema HMI implementado, siendo necesario que los equipos instalados dentro del sistema tengan compatibilidad con el equipo HMI instalado. [20] De esta forma, se debería comunicar el PLC del sistema con el HMI, de forma que las señales e información del sistema fluya entre ambos sistemas y se pueda ejercer control y supervisión desde ambos. El punto importante que da mucho valor a un sistema automatizado es la integración con un sistema SCADA, de forma que todo el sistema automatizado que se está ejecutando se pueda visualizar por las HMI y se pueda supervisar en tiempo real el sistema y hasta actuar sobre él. Hoy en día, cualquier automatización industrial no se entiende sin su sistema SCADA integrado en ella.

De esta manera, se denomina sistema SCADA al conjunto formado por los sistemas HMI que se desarrollan en torno a una instalación automatizada a nivel industrial que se busca visualizar, supervisar y controlar los diferentes procesos en tiempo real que tienen lugar en ella (ver [Figura 1.10](#)). HMI y SCADA están

relacionado entre sí, siendo uno o varios HMIs subconjuntos o componentes de un sistema SCADA.

En vista de las características que presenta un sistema HMI, sus aplicaciones y utilidades más interesantes en el sector de la automatización industrial de un aparcamiento podrían ser:

- **Monitorización:** El sistema tiene la capacidad para obtener y mostrar todos los datos en tiempo real. Los datos van desde el valor que tienen todos los parámetros de entradas y salidas conectados al sistema, los diferentes parámetros y variables que utiliza el autómata dentro de su lógica programada que se almacenan en la memoria del PLC.
- **Supervisión:** Gracias a la capacidad que ofrece la monitorización, se podría realizar una supervisión de todos los procesos dentro de la instalación desde la pantalla de un ordenador o un panel de visualización móvil. Con ello, se podrían ajustar y planificar los trabajos del personal y de la propia instalación.
- **Alarmas:** Las alarmas pueden visualizarse en la pantalla del sistema HMI de forma que el operario detecte de forma rápida cualquier alarma que se detecte en el sistema y además en tiempo real, gracias a la monitorización del sistema.
- **Control:** Este concepto es un nivel más desarrollado de la supervisión, es decir, además de supervisar los procesos del sistema se podría también utilizar la monitorización para desarrollar un sistema HMI que permita al operario controlar la instalación.

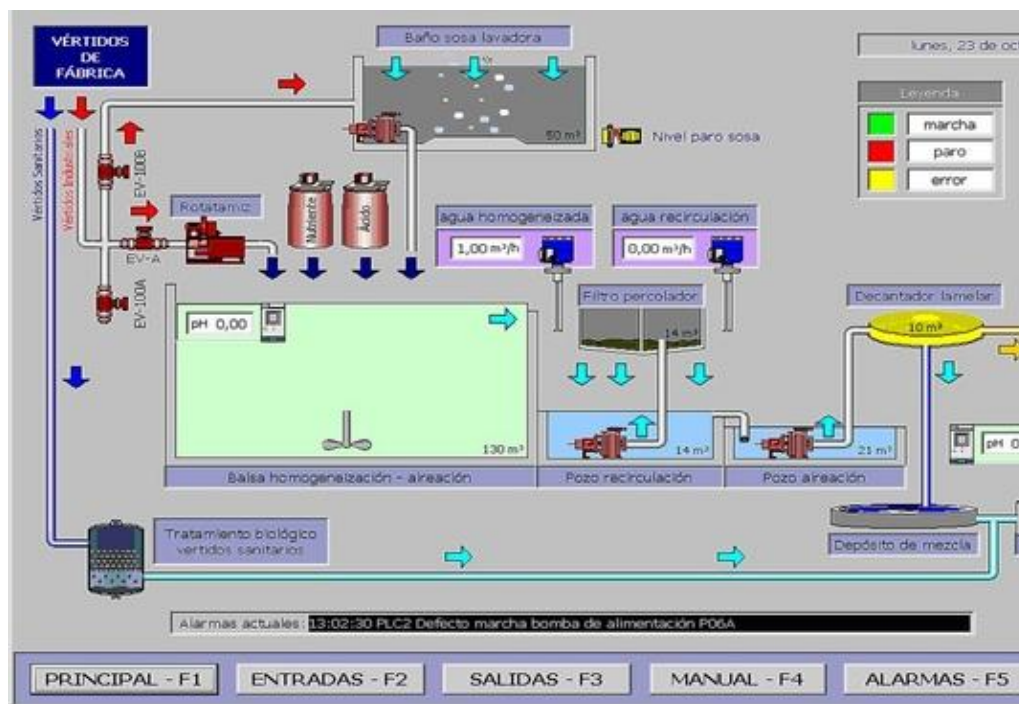


Figura 1.10. Sistema SCADA de una planta depuradora de aguas.

1.4.6.2. Sistema Gestión Automatizado – SGA

La solución que propone este sistema está basada en el sistema de gestión de aparcamiento automáticos. Como su propio nombre indica, este sistema es capaz de gestionar en tiempo real todas las operaciones que se llevan a cabo en un aparcamiento, asegurando la trazabilidad del vehículo y aumentando los niveles de productividad de la instalación. Está preparado para integrarse con el sistema de automatización por autómatas y el SCADA, ambos explicados anteriormente. En la [Figura 1.11](#) se puede observar un ejemplo de un panel de visualización típico que puede tener un SGA aplicado a un almacén automatizado.

La arquitectura física que se plantea en este tipo de sistemas es la que se muestra en la [Figura 1.12](#). Se puede ver como se tiene siempre un servidor que es el dispositivo que controla el sistema que se propone y de éste cuelgan varias partes que dependen de él, como son el autómata master, el operador y otros sistemas que podrían haber también, un ejemplo claro al ser un aparcamiento automatizado puede ser el sistema y máquinas de pago que se sitúan en los accesos del aparcamiento. Con PLC Master se hace referencia a un sistema distribuido con un PLC que es el que controla a los demás o, en caso de no haber ningún PLC que comande a los otros, el servidor del SGA actuaría directamente sobre tantos PLC como la instalación tenga. El Operador es la interfaz donde el usuario puede tanto visualizar como controlar el sistema SGA, es como un SCADA para propio del SGA. Entre el servidor SGA y el resto de sistemas suele establecerse una comunicación Ethernet. Por último, el servidor SGA puede ser un equipo que tenga conexión a Internet y así poderse comunicar con el exterior, de forma que sea posible el control remoto de la instalación desde cualquier punto, sin ser necesario estar físicamente presente en la localización de la instalación que se controla.

En conclusión, se trata de una arquitectura jerárquica por niveles, donde el servidor SGA es el dispositivo que mayor control puede ejercer dentro del sistema. Desde el operador se puede controlar partes del sistema SGA, pero solo las que se permita según esté configurado el servidor.

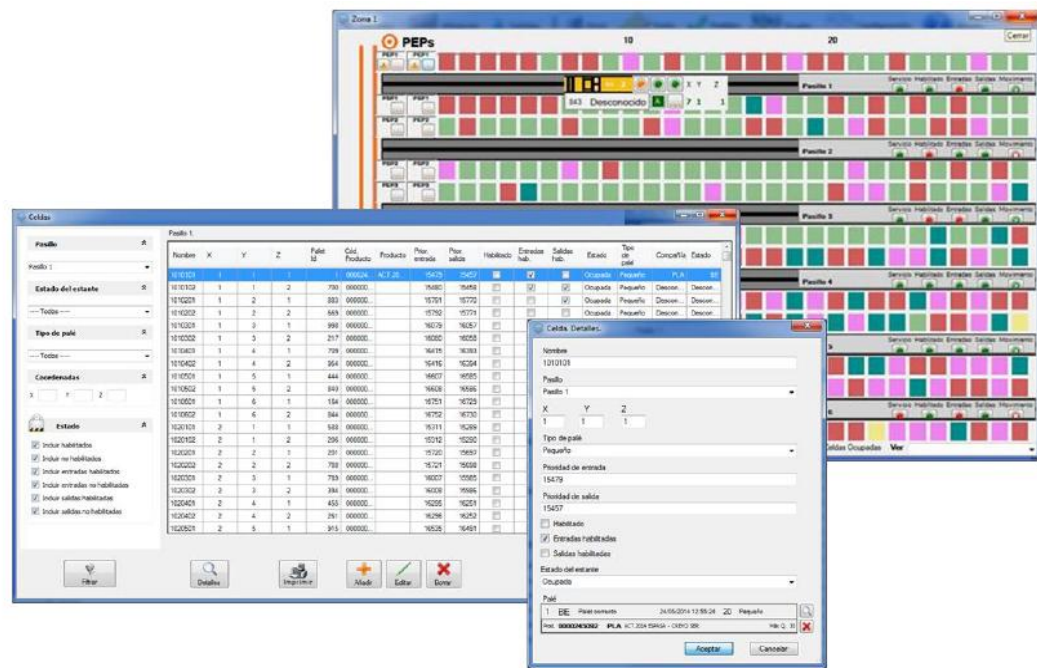


Figura 1.11. Interfaz de usuario Sistema de Gestión Automatizado [5].

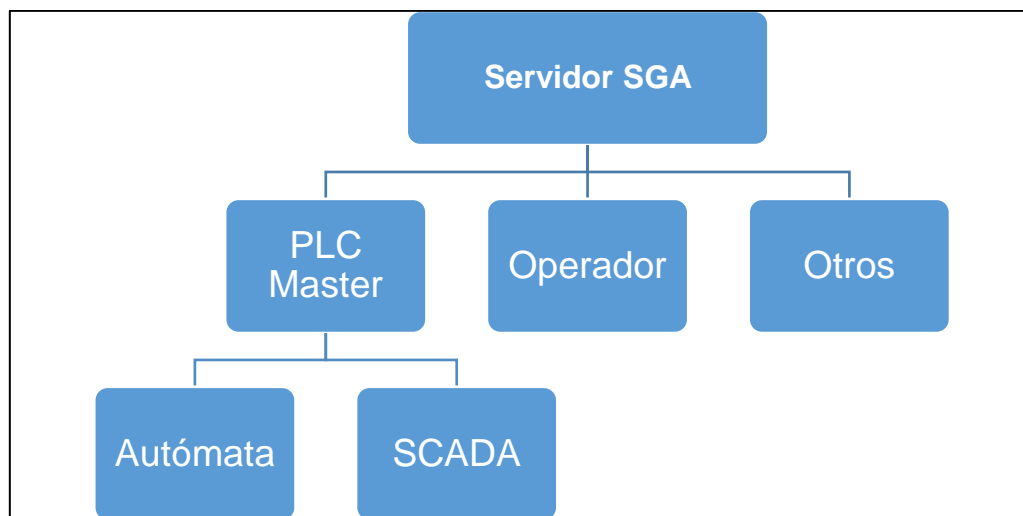


Figura 1.12. Arquitectura física SGA.

CAPÍTULO 2. ANÁLISIS PREVIO Y PLANTEAMIENTO

2.1. Localización inicial

Se han analizado muchos aeropuertos para poder decidir en cuál de ellos sería interesante poder situar un aparcamiento, dada su necesidad. Encontramos que el aparcamiento del Aeropuerto de Ibiza dispone tan solo de 496 plazas de estacionamiento, según datos oficiales de AENA [6]. A pesar de tener un aparcamiento tan reducido, el volumen de pasajeros que presenta el aeropuerto anualmente se sitúa alrededor de 6,48 millones de pasajeros.

Además del pequeño aparcamiento que presenta el Aeropuerto de Ibiza en la actualidad, se tiene también presente el tipo de usuarios que frecuentan este aeropuerto. Ibiza, al ser una isla pequeña no está tan desarrollado el transporte público como pueden estarlo zonas como Madrid y Barcelona. Este hecho hace difícil a los residentes poder llegar al aeropuerto en transporte público y crea la necesidad de que se desplacen en transporte privado y hagan uso del aparcamiento del aeropuerto de larga estancia. Algo similar ocurre también con los trabajadores, la gran mayoría tendrían que desplazarse en transporte privado al aeropuerto y deben estacionar su vehículo en el aeropuerto. También aparece una actividad que tiene mucho éxito en islas turísticas, las empresas de alquiler de coches. Es una práctica muy común entre los turistas para desplazarse por la isla y puede ser una estrategia de mercado de las empresas de alquiler de coches reservar algunas zonas del aparcamiento del aeropuerto para tener su disponibilidad de coches de alquiler justo al lado del aeropuerto y no en una nave industrial por los alrededores. Por todo ello, la necesidad de ampliar el aparcamiento del Aeropuerto de Ibiza es clara y se decide situar en este aeropuerto el aparcamiento automatizado que se desarrolla en el proyecto.

En la [Figura 2.1](#) se muestra una visión aérea de la zona en la que está situado el Aeropuerto de Ibiza. Viendo la distribución que plantea el aeropuerto y sus zonas adyacentes se encuentra que sustituir el aparcamiento existente en la actualidad por un aparcamiento automatizado en superficie es una buena idea. Situar un edificio en altura, como sería el aparcamiento automatizado que se propone, según su ubicación y la orientación de las pistas, no interfiere en los procedimientos de aterrizaje y despegue de aeronaves ni en las zonas libres de obstáculos que se deben garantizar por normativa.



Figura 2.1. Vista aérea Aeropuerto de Ibiza.

2.2. Previsión de demanda Aeropuerto Ibiza

Una vez se ha propuesto una localización para el aparcamiento, se realiza un estudio de previsión de la demanda del aparcamiento, en relación con el lugar donde se sitúa. Como es lógico, al ser un aparcamiento situado en un aeropuerto, este estudio tendrá una relación directa con el aeropuerto al cual pertenece.

2.2.1. Justificación del método de previsión

Se entiende por previsión de tráfico la relación que se encuentra entre el desarrollo económico de la región donde se sitúa el aeropuerto y el transporte aéreo de dicho aeropuerto. [7] El transporte aéreo requiere de una planificación para conseguir hacer frente a las necesidades y tener un desarrollo armonizado de las flotas, las infraestructuras, los servicios de navegación aérea, etc. Una planificación requiere de previsiones a distintos plazos de tiempo. Según estadísticas históricas de la relación que han tenido las previsiones con la realidad, se han definido unos parámetros y directrices a seguir para tener mayor éxito en las previsiones. Se suele aplicar una previsión a distintos plazos de tiempo en función de dónde aplica la previsión:

- Previsión a corto plazo → Servicios aéreos.
- Previsión a medio plazo → Infraestructura aeroportuaria.
- Previsión a medio-largo plazo → Flotas.

Utilizar estas directrices no garantiza el éxito, simplemente es una estimación o norma que en la mayoría de los casos funciona bien, pero hay excepciones y por ello lo mejor es establecer un método y parámetros específicos para el aeropuerto de estudio. En nuestro caso particular, se pretende realizar un dimensionamiento de un aparcamiento automatizado en el Aeropuerto de Ibiza y para ello, es necesario realizar una previsión de la demanda del tráfico que tendrá el aeropuerto en los próximos años de forma que el dimensionamiento propuesto se ajuste a las necesidades. Siguiendo las directrices comentadas, un aparcamiento se trata de una infraestructura aeroportuaria y, en vista de ello, se debería utilizar una previsión a medio plazo. Para este tipo de previsiones, el método más adecuado es utilizar una previsión econométrica del tráfico aéreo.

2.2.2. Procedimiento de una previsión econométrica

Para realizar una previsión econométrica resulta indispensable que el tráfico anual del aeropuerto supere el millón de pasajeros, con tal de evitar que la previsión sea sensible a estrategias unilaterales de compañías aéreas. Para realizar una previsión econométrica se necesita elegir un registro de datos para la variable principal de la previsión. En el caso de un aeropuerto, se opta por utilizar el número de pasajeros anuales del aeropuerto como variable principal.

Una vez se tiene la variable principal, este método consiste en seleccionar algunas variables secundarias, como mínimo 2, con las que se realizan diferentes combinaciones que dan lugar a diferentes previsiones. Una vez agotadas las posibilidades para el número de variables secundarias elegidas, se comparan los resultados de cada previsión y se selecciona uno de ellos. Además, para una misma previsión se plantean diferentes escenarios, típicamente 2; uno más conservador (crecimiento más suave) y otro más agresivo (crecimiento más abrupto). Las variables secundarias suelen estar relacionadas con la economía de la zona donde se localiza el aeropuerto (PIB, renta per cápita, comercio exterior, turismo, etc.) y también se tiende a utilizar parámetros demográficos como la población de la región.

2.2.3. Estudio previsión de demanda

Siguiendo con las indicaciones comentadas en el [Apartado 2.2.2](#) sobre el desarrollo de un estudio de previsión econométrica, en la [Figura 2.2](#) se muestra un gráfico de dispersión donde se puede observar la tendencia que siguen las diferentes previsiones (3) y escenarios (2) que se han realizado en el [Anexo 1](#). Además, también se ha incluido la tendencia que sigue la previsión del Plan Director del Aeropuerto de Ibiza [8], del Ministerio de Fomento español.

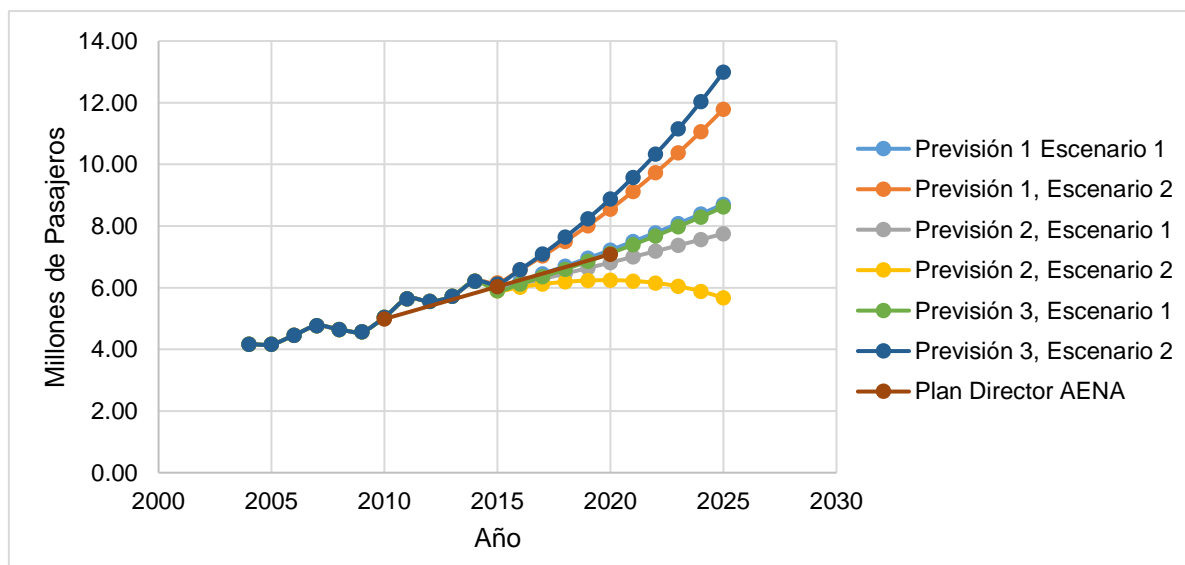


Figura 2.2. Previsión tráfico aéreo Aeropuerto de Ibiza.

La previsión de demanda del Plan Director que se muestra en la [Figura 2.2](#) es la que más se ajusta a la demanda real que hubo entre el 2010 y 2015, que como se ha comentado en el anexo de referencia, fue una previsión que después pudo corroborarse con la realidad en los años 2010 y 2015. Por tanto, se intenta seleccionar una previsión econométrica que se asemeje a esta previsión del plan director, ya que es la que más se asemejará también a la misma realidad siguiendo la tendencia observada en los años anteriores. También es importante seleccionar la tendencia de la previsión que utilice las variables más significativas en la economía y actividad de la región de Ibiza, que en este caso serían el turismo y su PIB.

En conclusión, teniendo en consideración las previsiones más semejantes al plan director y las que utilizan las variables más significativas en la actividad económica de la isla, se selecciona la previsión 3, Escenario 1 (conservador) como la previsión de demanda que presentará el tráfico aéreo del Aeropuerto de Ibiza en los próximos 10 años, hasta el 2025. Esta previsión se realizó considerando como variables secundarias el turismo y el PIB.

2.3. Impacto en la sociedad de un Aparcamiento Automatizado

Con el objetivo de poder tener un conocimiento real sobre el impacto social que causado por este sistema de aparcamiento inteligente y, con ello, poder prever el éxito que puede llegar a tener una instalación de este tipo se ha realizado una consulta a la sociedad sobre su opinión al respecto. La consulta se ha realizado a través de una encuesta realizada de forma online con la herramienta gratuita de Google [\[9\]](#).

2.3.1. Análisis e Interpretación de la muestra

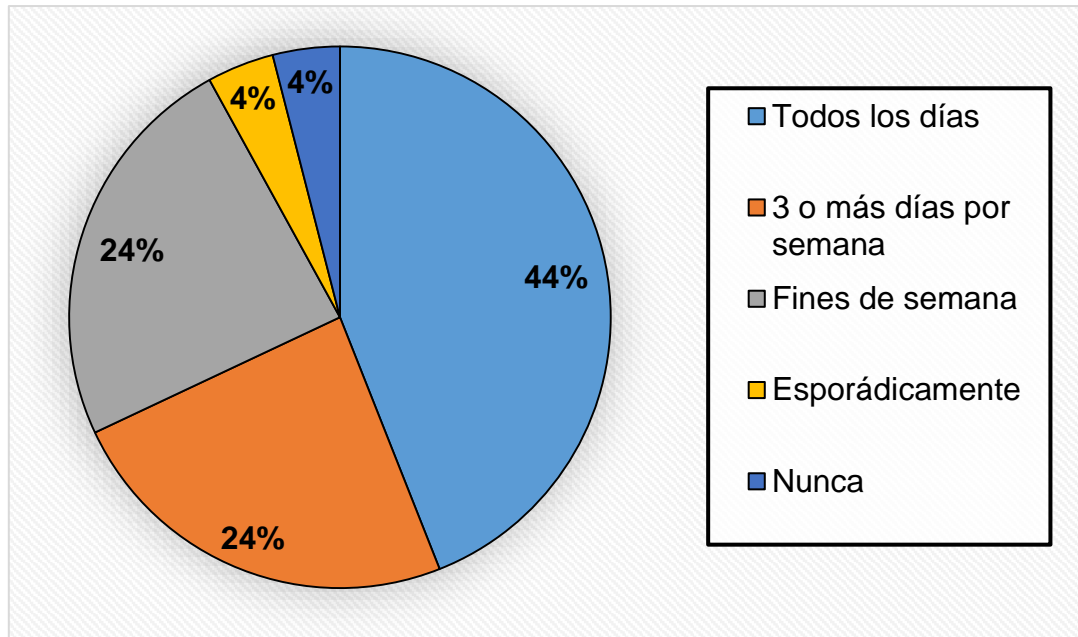
El tamaño de la muestra fue de 100 encuestados, de los cuales 54 fueron hombres y 46 mujeres. Entre la población encuestada se encontró que el 81% tenía entre 18 y 25 años y un 19% entre los 26 y 50 años. Por tanto, se trata de una sociedad muy joven la encuestada, hecho que ayuda a tener una visión de lo que depara el futuro para estos aparcamientos.

En términos del nivel de formación, el 35% tiene estudios de formación profesional, mientras que un 34% posee formaciones universitarias. El resto de los encuestados (31%) poseen únicamente los estudios elementales o bachiller.

2.3.2. Relación entre la sociedad y el uso del vehículo

Entrando algo más en materia de los objetivos de la consulta, se tiene que un 70% de los encuestados es conductor habitual y, por tanto, tiene necesidad de aparcar su vehículo habitualmente. Del total de conductores, el 44% utiliza todos

los días de la semana el vehículo, un 24% lo utiliza 3 o más días a la semana, otro 24% solo lo utiliza los fines de semana y finalmente tenemos los que lo utilizan muy esporádicamente o no lo utilizan con un 8%. (Ver [Figura 2.3](#)).



[Figura 2.3](#). Frecuencia de uso del vehículo.

Entre los conductores encuestados, la variedad de lugares donde aparcen habitualmente su vehículo son las que se muestran en la [Figura 2.4](#). Se observa como el 44,3% le supone unos costes poder estacionar su vehículo, lo cual es un porcentaje considerable que permite afirmar la necesidad que tienen los aparcamientos en la sociedad actual en que vivimos. Además, hay un 11,4% de los conductores que tienen suerte de tener algún aparcamiento público o zona de descampado cerca para aparcar, pero no todos tienen esa ventaja y en zonas donde no los hay el porcentaje de conductores que les supone un coste económico estacionar su vehículo superaría el 50%.

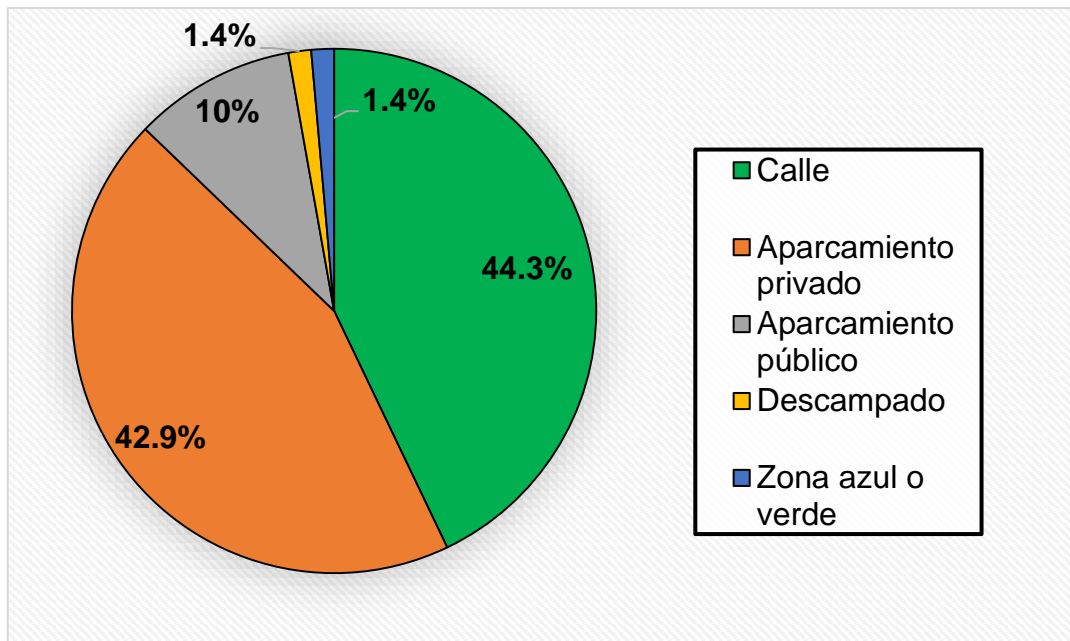


Figura 2.4. Lugar de estacionamiento del vehículo.

Otro aspecto a considerar en la relación de la sociedad con el uso del vehículo es analizar donde se desplaza con su vehículo. Según se observa en la [Figura 2.5](#), hay 2 ítems que predominan respecto a los demás: utilizar el vehículo como medio de transporte a nuestras obligaciones diarias (escuela o trabajo) y utilizarlo para frecuentar lugares de ocio.

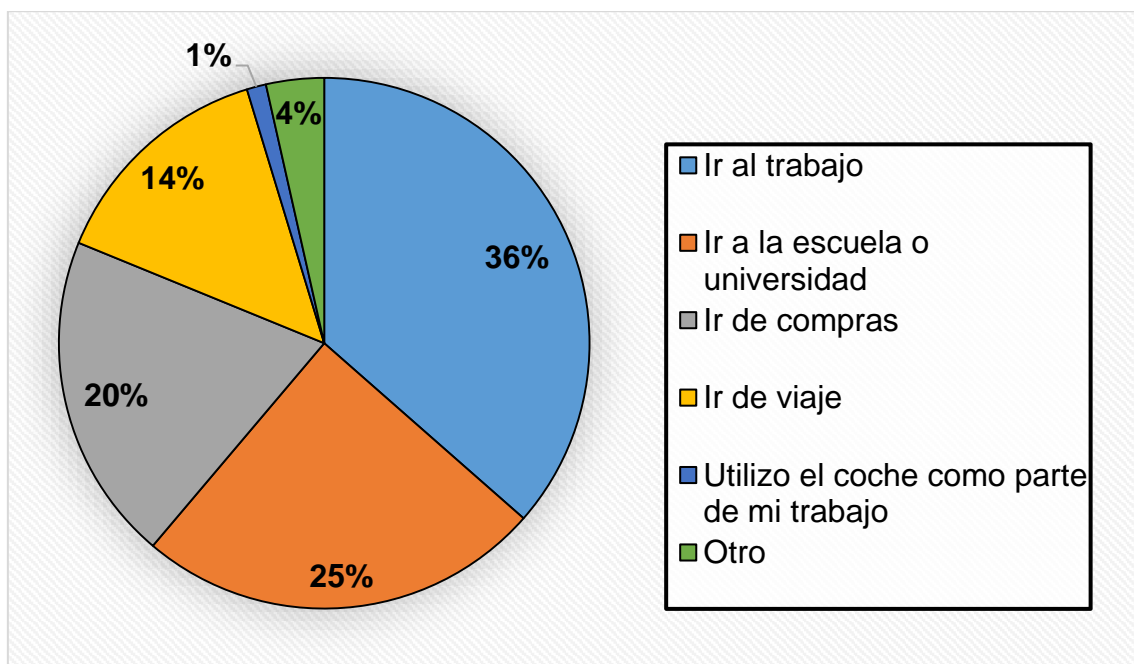
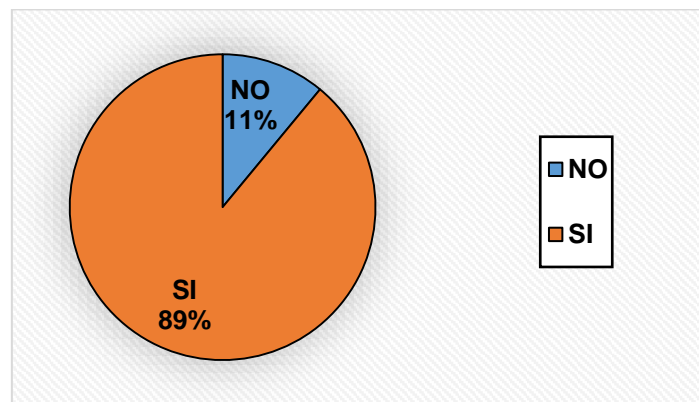


Figura 2.5. Lugares donde nos desplazamos con vehículo privado.

Tanto los lugares de trabajo, como las escuelas y universidades y centros comerciales suelen ser lugares con mucha afluencia. Por consiguiente, el tráfico de vehículos en esas zonas, tanto circulando como intentando estacionar es importante y esto demuestra la necesidad de crear aparcamiento de forma estratégica, creando lugares de estacionamiento con un plan de ordenación urbanística y optimizando el espacio utilizado. Estos parámetros de diseño se ajustan, en gran parte, a los puntos favorables que ofrece un aparcamiento automatizado frente a uno convencional.

2.3.3. Conocimiento sobre aparcamientos automatizados

Cuando se pregunta a la sociedad sobre si cree que conoce en que consiste un aparcamiento automatizado, la sociedad responde con un 47% que sí y con un 53% que no. Aproximadamente, sería una situación de balance, donde alrededor del 50% considera que conoce este tipo de aparcamiento. A pesar de ello, un 89% de los encuestados afirman que si estacionarían su vehículo en un aparcamiento automatizado, como se muestra en la [Figura 2.6](#). Este hecho demuestra que, al no estar muy extendido el uso de estos aparcamientos la sociedad tiene un desconocimiento real sobre el funcionamiento que tienen. No obstante, la sociedad se muestra abierta y tiene confianza en los avances tecnológicos actuales y los que puedan venir en el futuro próximo y este hecho es el que demuestra la iniciativa por confiar en aparcar el vehículo en ellos.



[Figura 2.6](#). Resultado a la pregunta de aparcar o no en un aparcamiento automatizado.

Siguiendo con la misma temática, gran parte de la sociedad también cree los aparcamientos automatizados acabarían sustituyendo a los convencionales en el futuro próximo, tal como se demuestra en la [Figura 2.7](#). La afirmación no es contundente, pero si es más favorable hacia el lado de la evolución al aparcamiento automatizado y es posible que parte de los resultados que se muestran en el punto medio de indecisión sea por la falta de conocimiento sobre los sistemas de control automatizado en los aparcamientos.

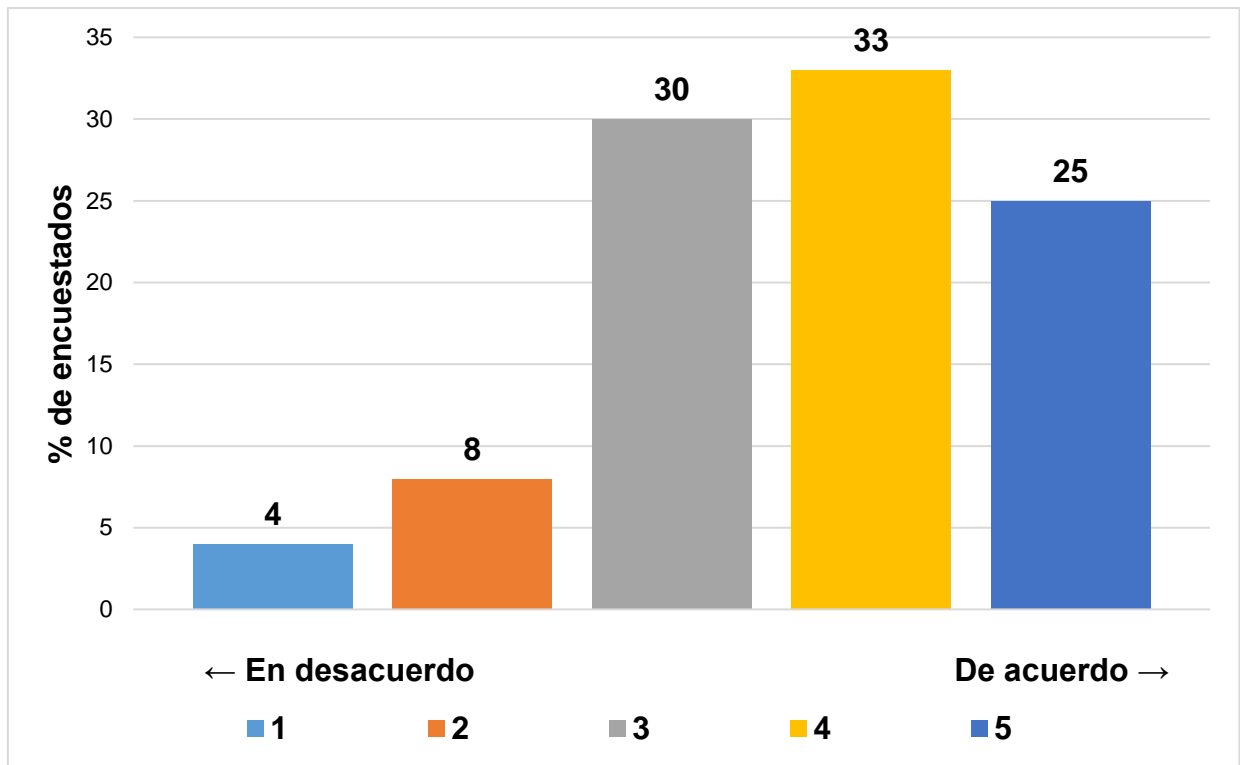


Figura 2.7. Respuesta a la pregunta de si un aparcamiento automatizado es el sistema de aparcamiento del futuro.

2.3.4. Aparcamiento Automatizado en un Aeropuerto

Viendo que la sociedad se muestra bastante positiva a la introducción de este tipo de aparcamiento en nuestros planes urbanísticos, es necesario también conocer de primera mano si creen que es interesante integrar un sistema de aparcamiento de este tipo en un aeropuerto. Por ello, se consultan cuáles serían los sitios donde creen que puede ser exitoso un aparcamiento automatizado y la sociedad responde tal y como se muestra en la [Figura 2.8](#).

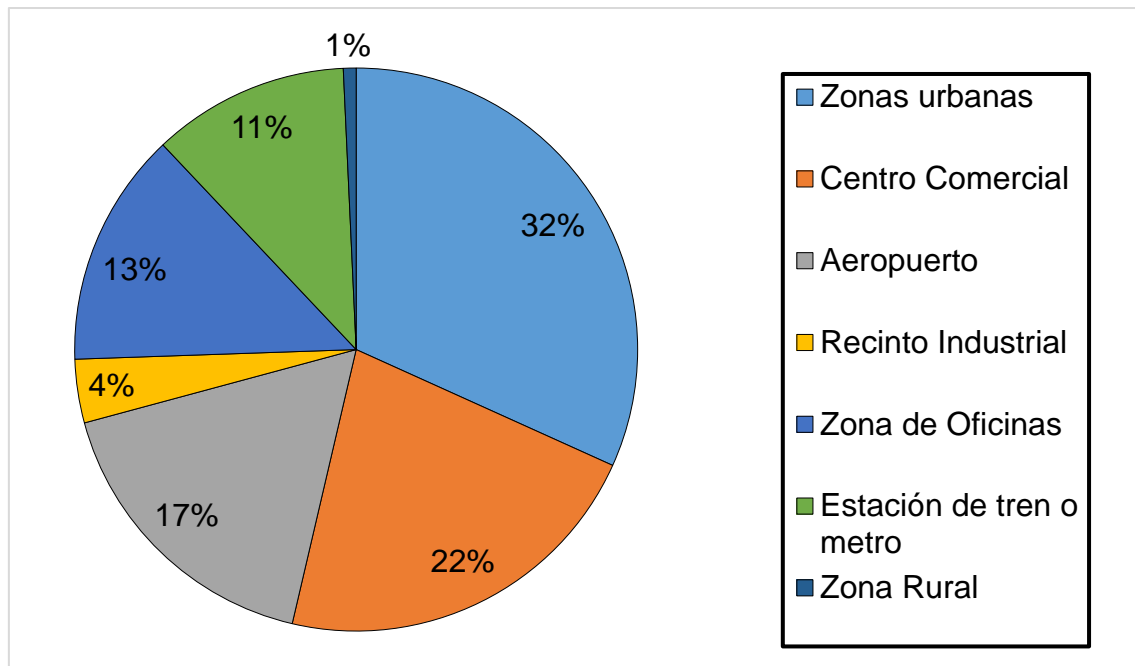


Figura 2.8. Ubicaciones con posibilidad de éxito de un aparcamiento automatizado según los encuestados.

Los encuestados consideran que situar un aparcamiento automatizado en el aeropuerto es la tercera opción que más éxito presenta entre las posibles opciones. Este hecho hace tener seguridad en que puede ser muy acertado el integrar un aparcamiento automatizado en un aeropuerto y que puede ser el principio de un movimiento que provoque que muchos otros aeropuertos a nivel europeo y mundial sigan el mismo camino.

Según los resultados que se obtienen, entre un 6-8% de los pasajeros se desplazan en su coche privado al aeropuerto y lo dejan allí estacionado hasta su regreso del viaje. Además, el 42% de los encuestados cuando van al aeropuerto a recoger a algún pasajero utilizan también el estacionamiento privado del aeropuerto. No son cifras dominantes, pero si suficientes como para tener en cuenta la creación de un aparcamiento de mayor tamaño en el Aeropuerto de Ibiza, capaz de albergar el volumen de demanda de estacionamientos que se le pide, ya que actualmente solo tiene un 15% de los pasajeros hora punta del aeropuerto.

2.4. Dimensionamiento del aparcamiento

2.4.1. Planteamiento

En base a las conclusiones obtenidas del estudio de econometría del tráfico aéreo para el Aeropuerto de Ibiza, se realiza un dimensionamiento adecuado para el volumen de tráfico que se prevé tener. Con el dimensionamiento del aparcamiento definido, se puede realizar un presupuesto de los costes de implementación que puede llegar a tener la instalación.

Además de un dimensionamiento acorde con la previsión realizada del volumen de tráfico del Aeropuerto de Ibiza, también se realiza un dimensionamiento simplificado. El dimensionamiento simplificado, realizado en el [Apartado 2.4.3](#), consiste en un modelo de sistema de aparcamiento automatizado para un volumen de tráfico reducido y en franjas horarias repartidas de manera que no se formen picos de demanda en los accesos y salidas de éste.

2.4.2. Dimensionamiento para el Aeropuerto de Ibiza

Para poder dimensionar un aparcamiento de aeropuerto, no existen fórmulas magistrales para definir las plazas de aparcamiento de vehículos necesarias y se recomienda realizar un estudio individual.

Aun así, existen algunas fórmulas propuestas por la FAA para el dimensionamiento de aeropuertos americanos que no sean turísticos. El caso del Aeropuerto de Ibiza no es americano y si se trata de un aeropuerto turístico y, por ello, se deberá rebajar el resultado de plazas de aparcamiento obtenidas con estas fórmulas [7]. Actualmente, no se tienen otras ecuaciones ni métodos mejores para dimensionar el número de plazas de estacionamiento requeridas en un aeropuerto que este y la propia experiencia. Las fórmulas que se tienen, determinan el número de plazas de aparcamiento en función de si son para estancias cortas (menos de un día) o estancias largas (más de un día). A continuación, se muestran las ecuaciones para estancias cortas (short-term) y estancias largas (long-term):

$$NPST = 0.35 \cdot PHP \quad (2.1)$$

$NPST \equiv n^{\circ} \text{ plazas short-term}$; $PHP \equiv \text{Pasajeros Hora Punta}$

$$NPLT = 375 \cdot PAX^* / \text{año} \quad (2.2)$$

$NPLT \equiv n^{\circ} \text{ plazas long-term}$; $PAX^* \equiv \text{Pasajeros en Millones}$

El parámetro PHP es uno de los valores más importantes y, por tanto, de mayor utilización en cuanto al dimensionamiento de las diferentes infraestructuras que forman un aeropuerto. Para un correcto dimensionamiento del aparcamiento, se hace en vistas a 10 años de utilización, de esta forma se utiliza la cifra de PHP del año 2025 (calculada en el [Anexo 1](#)) para el dimensionamiento del aparcamiento. Una vez se tiene el valor de PHP, se puede ya calcular el número de plazas para estancias cortas que se estima para el Aeropuerto de Ibiza, utilizando la Ecuación (2.1):

$$NPST_{2015} = 0.35 \cdot 3951 \cong 1382 \text{ plazas} \quad (2.3)$$

$$NPST_{2025} = 0.35 \cdot 4826 \cong 1689 \text{ plazas} \quad (2.4)$$

Obtenida la estimación de plazas de aparcamiento para estancias inferiores a 1 día, se deben estimar las plazas de aparcamiento para largas estancias. Para ello, se utiliza la Ecuación (2.2):

$$\begin{aligned} NPLT_{2015} &= 375 \cdot 4.17 \cong 1563 \text{ plazas} \\ NPLT_{2025} &= 375 \cdot 8.62 \cong 3232 \text{ plazas} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Según los resultados obtenidos, el Aeropuerto de Ibiza en este 2015 debería ya tener unas 2900 plazas de aparcamiento aproximadamente, para cumplir las previsiones que se marcan en los cálculos anteriores, pero tan solo tiene 496 plazas más 12 de movilidad reducida, una cifra muy por debajo de la necesaria. Es cierto que las fórmulas utilizadas son para aeropuertos americanos y no turísticos y se debe rebajar el resultado obtenido, aun así, la diferencia sigue siendo excesiva y, por ello, se considera la necesidad de ampliación del aparcamiento del Aeropuerto de Ibiza

Una vez se demuestra la necesidad de ampliar el Aeropuerto de Ibiza, las previsiones se deben hacer a unos 10 años vista, como mínimo. Por ello, han sido calculados los valores de plazas de aparcamiento de corta y larga estancia para el año 2025. En función de las estimaciones de tráfico aéreo previstas para el 2025 se obtiene la demanda de plazas de aparcamiento que tendrá el aeropuerto y en base a esta demanda futura se realiza el dimensionamiento para la posterior obra en la terminal.

En conclusión, sumando aparcamiento de corta y larga estancia habría una necesidad de unas 4900 plazas de aparcamiento para el 2025. Evidentemente, este resultado debe reducirse al diferir de las características del aeropuerto de estudio, de forma que se considera que un buen coeficiente de reducción puede ser el 0,30. Aplicando el coeficiente de reducción del 0,30 se obtiene un dimensionamiento de unas 1500 plazas de aparcamiento. Este dimensionamiento, que es 3 veces mayor que el dimensionamiento actual si se ajusta más a las condiciones de servicio que tiene el aeropuerto. Con este dimensionamiento, si es factible tener una ocupación suficiente como para que tenga rentabilidad la explotación del aeropuerto. Además, en Ibiza se ha comentado el negocio tan importante de las empresas de alquiler de coches y que podrían tener parte del aparcamiento alquilado para ofrecer sus coches de alquiler a los turistas justo al lado del aeropuerto y no en recintos y polígonos en los alrededores de más difícil acceso.

Por tanto, con el objetivo primordial de la optimización del espacio, se pretende realizar un aparcamiento con un sistema de control automatizado, utilizando un control inteligente en lazo cerrado, siguiendo las necesidades de dimensionamiento que se han obtenido en esta sección, con unas 1500 plazas de aparcamiento aproximadamente distribuidas en 2 silos (2 pasillos).

El espacio total del que se dispone para la integración de un aparcamiento con el número de plazas propuesto es aproximadamente de $15.000m^2$, como se muestra en la Figura 2.9. Con la geometría de espacio disponible, se pueden

realizar 2 pasillos de aparcamiento, donde el primero de ellos sería de unos 175mts. y el segundo de 140mts.



Figura 2.9. Superficie disponible para la realización del aparcamiento.

Las zonas libres que se muestran en los laterales de la [Figura 2.9](#) hasta llegar a la carretera se pueden utilizar como zona de accesos y salidas del aparcamiento. Lo ideal, dado el número de plazas sería propuesto para el aparcamiento es dotar de 4 entradas y 4 salidas, localizadas de forma equitativa entre las 2 zonas disponibles para este fin. De esta manera, con 2 entradas y salidas a cada extremo de los pasillos del aparcamiento se pueden satisfacer las peticiones de entrada y salida de la instalación.

El primer pasillo, con una longitud total de unos 175 metros aproximadamente puede disponer de unas 58 celdas de estacionamiento a cada lado del pasillo, considerando unos 3 metros de ancho por celda y previsores de dejar espacio entre celdas como para que pueda haber un pequeño pasillo para los posibles trabajos de mantenimiento que tengan que realizarse en las celdas y que, según normativa, debe ser entre 600-1000mm. En total, habría 116 celdas a cada lado del pasillo y en cada una de las plantas, excepto en la planta baja donde se debe situar el box de entrada, así como algunas celdas de mantenimiento que no estarán disponibles para almacenar vehículos.

El segundo pasillo, sin embargo, tiene un recorrido inferior, de unos 140 metros aproximadamente. Por tanto, en este pasillo podrá haber 46 celdas de estacionamiento a cada lado. En total, este pasillo tendría unas 92 celdas de estacionamiento en cada planta, con la misma excepción que se comenta en el primer pasillo.

En conclusión, para ofrecer un aparcamiento de 1500 plazas y teniendo una capacidad por planta de 208 celdas, se necesitaría un total de 8 plantas de unos 3 metros de altura por planta aproximadamente. En total el edificio tendría una altura de 36 metros. Al ser un edificio donde no se espera circulación de

personas por su interior no se requiere que tenga una altura excesiva, por ello se considera una altura de 3 metros considerando cimentaciones.

Se ha analizado la zona y no interfiere en el campo de vuelo de las aeronaves, de forma que la altura requerida por el edificio no es un problema.

2.4.3. Dimensionamiento simplificado

En este segundo dimensionamiento se ha realizado un modelo que simplifique las dimensiones del modelo propuesto en el [Apartado 2.4.2](#). De esta forma, se ha reducido la capacidad de celdas de almacenamiento respecto al aparcamiento con las dimensiones propuestas según la demanda del Aeropuerto de Ibiza. Gracias a ello, se consigue un prototipo de diseño de aparcamiento genérico, que presenta una gran flexibilidad para adaptarse a cualquier tipo de espacio en que se requiera integrar el aparcamiento y para cualquier tipo de dimensionamiento que se proponga. Este dimensionamiento simplificado, por tanto, busca obtener el diseño del sistema de automatización de un aparcamiento **modular** a cualquier sector y medio en que se pretenda integrar y **escalable** a cualquier dimensión o volumen que se requiera.

De esta manera, acoplar este sistema de aparcamiento automatizado reducido al dimensionamiento propuesto para el Aeropuerto de Ibiza es perfectamente asumible sin necesidad de rehacer por completo el sistema. La mano de obra requerida para esta integración en cuanto a ingeniería y desarrollo será mínima, reduciéndose casi en su totalidad a mano de obra de intervención y puesta en marcha, que se requiere siempre en todo tipo de instalación que se realice, a pesar de tener el prototipo o producto ya desarrollado.

El dimensionamiento simplificado, por tanto, contará con los elementos básicos que se requiere en cualquier instalación de aparcamiento automatizado genérica y tipo que se pretenda diseñar, ajustándose a las condiciones de diseño y las particularidades propias que lo diferencian del resto de sistemas y que se desarrollan en el [Capítulo 4](#) de diseño del aparcamiento.

CAPÍTULO 3. MÉTODOS UTILIZADOS

En este capítulo se realiza un resumen de los recursos y métodos que han sido utilizados durante el desarrollo de este proyecto de diseño de un sistema de automatización aplicado a un aparcamiento. Para ello, se diferencian 2 grandes secciones: hardware y software.

3.1. Hardware

En esta parte se hará mención de los principales elementos de hardware que forman parte del sistema de automatización de aparcamiento desarrollado en este proyecto. Entre los elementos principales se encuentran la sensórica y los elementos de posicionamiento, los cuales hacen posible que el autómata programable pueda controlar el proceso del sistema automatizado. Los elementos indicados se conectan a través de las entradas (digitales habitualmente) del autómata. Algunos elementos complejos que van más allá de una transmisión de datos binaria y requieren de cartas específicas de comunicación para que sea posible la comunicación entre el elemento y el autómata, es el caso de telémetros y encoders, por ejemplo.

A continuación, se hace una descripción breve de los elementos de hardware que se integran en el sistema automatizado para hacer posible el control del sistema al PLC.

3.1.1. Sensores inductivos

Los sensores inductivos se utilizan en millones de aplicaciones a nivel industrial, sobre todo cuando el objetivo es detectar una parte metálica muy próxima al inductivo. No es necesario que haya contacto entre sensor y metal, detecta en su proximidad. Una de las características que hace que sean muy utilizados es su prolongada vida útil y extrema resistencia, sumado a que son muy económicos en comparación con otro tipo de sensores. Algunas de las marcas comerciales más conocidas que ofrecen este tipo de producto son: SICK y Schneider Electric. En la [Figura 3.1](#) se muestra un modelo de sensor inductivo.



[Figura 3.1](#). Sensor inductivo Schneider Electric 20-264V.

3.1.2. Detectores

Este tipo de sensor suele ir acompañado o bien por un catadióptrico o bien está compuesto por un emisor y un receptor. En ambos casos está formado por dos piezas que deben colocarse una frente a la otra, de forma que haya un haz de detección entre ambas piezas. El detector envía un “1” o “0” digital al autómatas en función de si no se cruza el haz por nada o se cruza, respectivamente. Se diferencia con un inductivo en que su alcance de detección es mayor, pero, su coste es mayor. En la [Figura 3.2](#) se muestra los 2 modelos clásicos de detectores.



[Figura 3.2.](#) Detectores Schneider Electric, 24-240V

3.1.3. Finales de Carrera – FC

Los sensores FC son interruptores que detectan la posición de un elemento móvil mediante un accionamiento mecánico, eléctrico o neumático. Son muy habituales en la industria para detectar la llegada de un elemento móvil a una determinada posición. Por ello, se suelen situar al final del recorrido de los elementos móviles, de forma que al detectar al elemento móvil envían una señal al autómatas o a un relé para que se pueda modificar el estado del circuito. En la [Figura 3.3](#) se muestra un FC clásico.



[Figura 3.3.](#) FC Telemecanique, 24-240V.

3.1.4. Telémetros láser y encoders absolutos

Los hay de diferentes tipos, siendo los telémetros de láser y los encoders absolutos los que han tenido un uso más extendido en el ámbito industrial.

Los telémetros láser son equipos ópticos que miden la distancia con precisión y resolución de $\leq 0.1mm$ al reflejarse su haz láser en un reflectante situado en el otro extremo del recorrido. Estos sistemas se emplean para el control de posición

en traslación y elevación. La medida que toma el equipo es de gran fiabilidad. El recorrido debe estar siempre libre y en caso de cortarse el haz láser se acostumbra a programar la parada inmediata de la máquina, por motivos de seguridad.

Los encoders absolutos, en cambio, son equipos rotativos con valor codificado no repetitivo ni incremental, que entregan un valor absoluto y distinto por cada vuelta. En general, son sistemas con acoplamientos, sin excesivos desgastes y con recorridos cortos.

En las [Figura 3.4](#) y [Figura 3.5](#) se muestran un telémetro y un encoders típicos, ambos del fabricante SICK, que es uno de los mejores en este sector.



[Figura 3.4.](#) Telémetro laser SICK.



[Figura 3.5.](#) Encoder absoluto SICK.

Según las definiciones anteriores de telémetros y encoders, lo más adecuado sería utilizar los telémetros para controlar el posicionamiento en recorridos lineales y los encoders para los recorridos circulares.

3.2. Software

3.2.1. Herramientas desarrollo mecánico

Para el desarrollo mecánico de este aparcamiento se han utilizado las herramientas de CATIA v5R24, a nivel informativo y de visualización, puesto que el objetivo de este proyecto está en el desarrollo del sistema de automatización del aparcamiento y no en su diseño mecánico.

3.2.2. Herramientas desarrollo eléctrico

En cuanto al diseño eléctrico realizado, y en el que se basan muchos de las bases del sistema automatizado a posteriori, se han realizado los esquemas eléctricos del aparcamiento con la herramienta EPLAN Electric P8 V2, también a modo informativo.

3.2.3. Herramientas representación y planos

En cuanto a los planos de los layouts que se han realizado de la instalación para la contextualización del espacio de trabajo en el que se desarrolla el sistema de automatización del proyecto, se ha utilizado la herramienta AUTOCAD 2014. Estos layouts si han sido realizados exclusivamente para este proyecto, según el dimensionamiento concreto que se ha diseñado para realizar el sistema de automatización del aparcamiento.

Se ha utilizado también la herramienta Google Earth para situar geográficamente la zona en la que se localiza el aparcamiento propuesto, así como también para ver las distancias físicas de las que se dispone para instalarlo.

3.2.4. Herramientas de automatización

Estas son las herramientas principales y en las que se centra todo el trabajo realizado en este proyecto, el desarrollo de un sistema automatizado para un prototipo de aparcamiento simplificado propuesto.

La herramienta fundamental de programación con la que se ha desarrollado toda la automatización para un autómatas de la gama SIMATIC de Siemens, es Totally Integrated Automation Portal V13 SP1, típicamente llamado como TIA. Este software presenta un módulo principal de programación llamado STEP 7 Professional, donde se ha realizado todo el desarrollo de programación de este proyecto. Además, se han utilizados algunos otros módulos integrables a este software como son el PLC-SIM donde se ha simulado todo el sistema automatizado desarrollado a falta de tener los equipos de hardware y poder directamente actuar sobre ellos y, WinCC Basic donde se ha desarrollado un sistema SCADA donde se visualizan los procesos del aparcamiento, así como también se puede controlar las diferentes acciones y secuencias del sistema.

En el software TIA se utilizan unos lenguajes de programación específicos y muy comunes en el ámbito de la automatización industrial, ya que se sigue una filosofía similar. A continuación, se hace una síntesis de los aspectos más importantes que se deben tener presentes para trabajar TIA.

Los lenguajes de programación utilizados son, principalmente, KOP y AWL, aunque también se puede programar en SCL y FUP. En este proyecto se ha programado alrededor del 90% del contenido en KOP y el 10% restante en AWL. En la [Figura 3.6](#) y [Figura 3.7](#) se puede observar un segmento del proyecto realizado en KOP y otro en AWL, respectivamente. Como se observa, KOP consiste en puertas lógicas como AND, OR, etc. combinado con temporizados, contadores, comparadores y muchas más herramientas, pero el principio general es la combinación de este tipo de algoritmos lógicos.

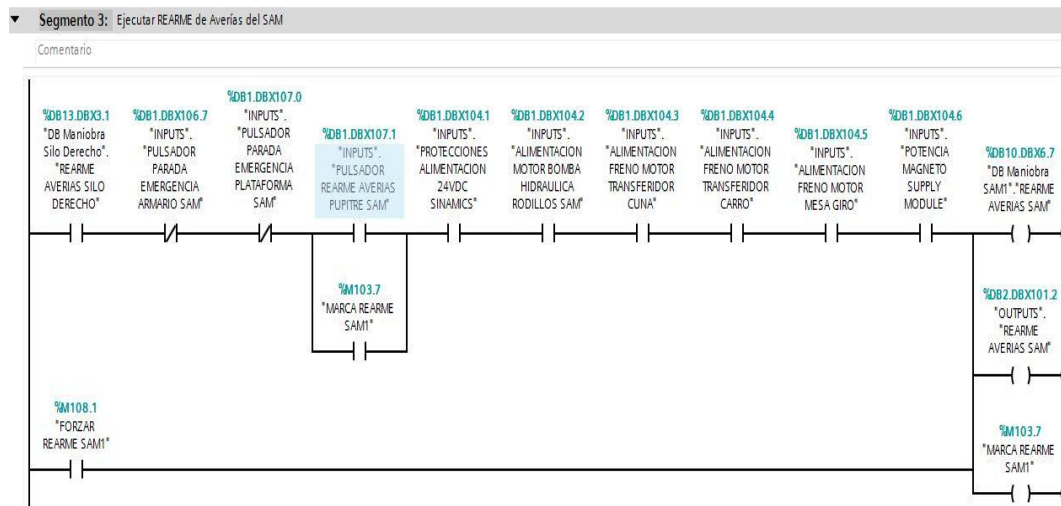


Figura 3.6. Ejemplo lenguaje de programación KOP.

▼ Segmento 3: SAM_A102

Comentario

1	A	"SELECTOR ABRIR RODILLOS2 DELANTE PUPITRE SAM"	%I102.0
2	=	"INPUTS"."SELECTOR ABRIR RODILLOS2 DELANTE PUPITRE SAM"	%DB1.DBX1...
3	A	"SELECTOR CERRAR RODILLOS2 DELANTE PUPITRE SAM"	%I102.1
4	=	"INPUTS"."SELECTOR CERRAR RODILLOS2 DELANTE PUPITRE SAM"	%DB1.DBX1...
5	A	"SELECTOR ABRIR RODILLOS1 DETRAS PUPITRE SAM"	%I102.2
6	=	"INPUTS"."SELECTOR ABRIR RODILLOS1 DETRAS PUPITRE SAM"	%DB1.DBX1...
7	A	"SELECTOR CERRAR RODILLOS1 DETRAS PUPITRE SAM"	%I102.3
8	=	"INPUTS"."SELECTOR CERRAR RODILLOS1 DETRAS PUPITRE SAM"	%DB1.DBX1...
9	A	"SELECTOR ABRIR RODILLOS2 DETRAS PUPITRE SAM"	%I102.4
10	=	"INPUTS"."SELECTOR ABRIR RODILLOS2 DETRAS PUPITRE SAM"	%DB1.DBX1...
11	A	"SELECTOR CERRAR RODILLOS2 DETRAS PUPITRE SAM"	%I102.5
12	=	"INPUTS"."SELECTOR CERRAR RODILLOS2 DETRAS PUPITRE SAM"	%DB1.DBX1...
13	A	"PULSADOR PARADA EMERGENCIA ARMARIO SAM"	%I102.6
14	=	"INPUTS"."PULSADOR PARADA EMERGENCIA ARMARIO SAM"	%DB1.DBX1...
15	A	"PULSADOR PARADA EMERGENCIA PLATAFORMA SAM"	%I102.7
16	=	"INPUTS"."PULSADOR PARADA EMERGENCIA PLATAFORMA SAM"	%DB1.DBX1...
17			

Figura 3.7. Ejemplo lenguaje de programación AWL.

CAPÍTULO 4. DISEÑO DEL APARCAMIENTO

En este capítulo se desarrolla el sistema de automatización para el dimensionamiento simplificado que ha sido propuesto en el [Apartado 2.4.3](#).

4.1. Planteamiento inicial

Inicialmente, se definen los diferentes sistemas que intervienen en una instalación de aparcamiento automatizado y, seguidamente, se centra todo el proyecto en el desarrollo de uno de los sistemas. En la [Figura 4.1](#) se pueden observar estos sistemas.



[Figura 4.1](#). Esquema sistema de aparcamiento automatizado.

En este proyecto, el sistema que se desarrolla es el sistema de movimentación de máquinas, de forma que el resto de sistemas se proponen como posibles mejoras a desarrollarse para obtener un sistema de aparcamiento más completo y productivo, pero no forman parte de este proyecto. A fin de cuentas, dentro del sistema de aparcamiento automatizado el sistema fundamental para que sea un aparcamiento de este tipo es el desarrollado, es decir, programar las diferentes maniobras de máquinas de forma que haya un proceso de almacenamiento y extracción de vehículos de manera automatizada. El resto de sistemas pueden realizarse de manera manual o en el caso del sistema de gestión que se propone como mejora, su objetivo es conseguir una distribución y control del aparcamiento de forma más óptima. En cuanto al sistema de accesos existen muchas empresas actualmente que se dedican a ello y ofrecen precios competitivos, de forma que se pueden adquirir e integrar sus equipos con el desarrollo automatizado realizado.

4.2. Distribución del aparcamiento

En referencia al modelo simplificado propuesto en el [Apartado 2.4.3](#), la instalación contará con los elementos básicos y principales que harán posible el funcionamiento de un aparcamiento automatizado como el que se plantea. Para ello, dispondrá de una entrada y una salida al aparcamiento (2 boxes en total, que se explicará más adelante de qué están formados) y de un sistema de giro que permite girar y posicionar el vehículo en la orientación necesaria. También dispondrá de las máquinas necesarias para la movimentación del vehículo por la instalación, tanto en vertical como en horizontal, es decir, de un SAM y un elevador que más adelante se explicará en qué consisten.

Como ampliación y propuestas de mejora se podría desarrollar un sistema de gestión automatizado del aparcamiento, que su función principal sería distribuir de forma más eficiente la demanda de entradas y salidas a la instalación. Este sistema es muy interesante de integrar en aparcamientos donde se prevé una gran afluencia, como puede ser el caso de un aeropuerto.

En este dimensionamiento simplificado se dispone de una planta baja única y exclusivamente para gestionar el inicio del proceso de entrada y el final del proceso de salida, junto con las tareas de mantenimiento de máquinas o celdas que se deban realizar, dotando de 4 celdas de mantenimiento para dicho fin. Por tanto, la planta baja dispone de un box de entrada y otro de salida, situados a cada extremo del rail por donde circula el SAM, y de las 4 celdas de mantenimiento ya comentadas. A continuación, la instalación dispone de 3 plantas por encima de la planta baja, donde se sitúan las celdas utilizables para estacionar los vehículos que hacen uso del aparcamiento. Se dispone de 5 celdas a cada lado del pasillo, sumando un total de 10 celdas por planta y un total de 30 plazas de aparcamiento disponibles en todo el aparcamiento.

En las siguientes figuras se pueden observar los layout en planta de las diferentes plantas del aparcamiento. Es una distribución ideal, donde se dispone de 5 metros de anchura para cada una de las celdas de forma que el espacio entre ellas sea considerable y haya margen de error en el posicionamiento. En un diseño real del aparcamiento, se podría reducir hasta 3 metros de anchura cada celda, como se comenta en el [Apartado 2.4.2](#).

En la Planta 0 se guarda el espacio ante la posibilidad de habilitar 4 celdas de estacionamiento extras, en condiciones de máxima demanda, ya que está el espacio habilitado para ello y el software también está programado para operar en esas posiciones.

Todas las cotas se expresan en milímetros.

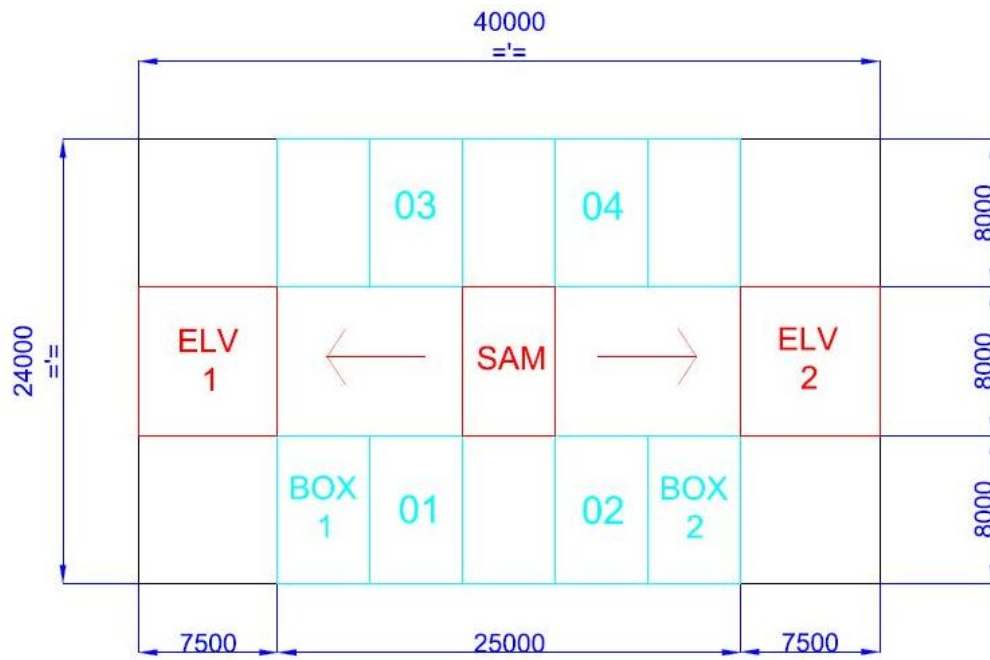


Figura 4.2. Layout de la Planta 0 del aparcamiento.

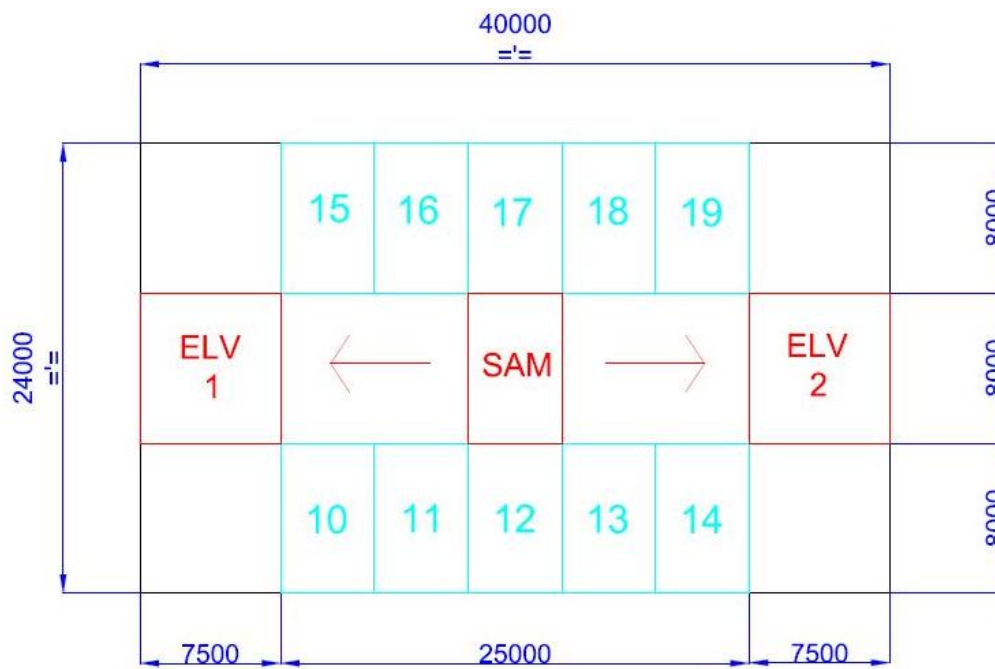


Figura 4.3. Layout Planta 1 del aparcamiento.

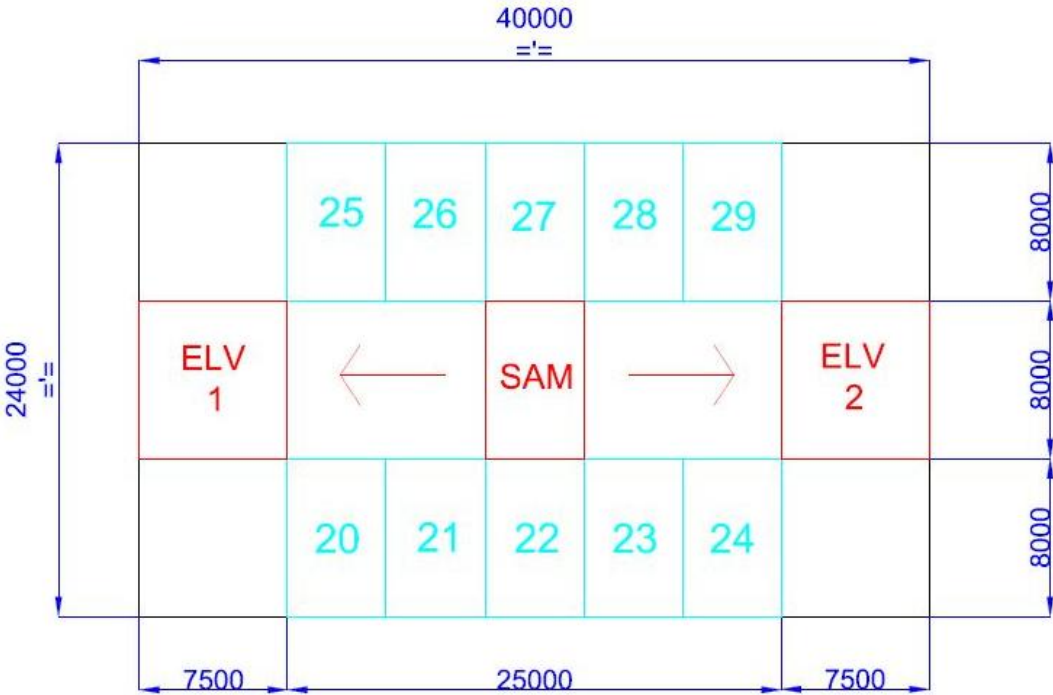


Figura 4.4. Layout Planta 2 del aparcamiento.

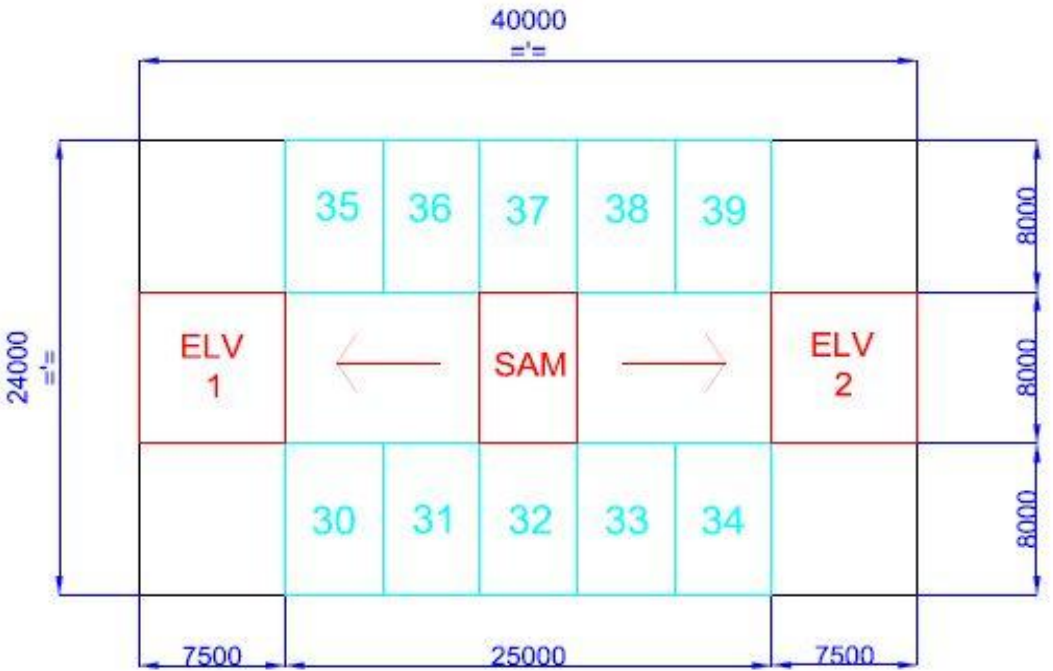


Figura 4.5. Layout Planta 3 del aparcamiento.

4.3. Arquitectura de red del sistema

Como primer paso, es fundamental la definición de la arquitectura de red con los diferentes equipos principales y genéricos que tiene la instalación y que son necesarios para el desarrollo del sistema de automatización que se realiza. Como elementos principales se tienen los autómatas, que como se especificará en su apartado correspondiente, solo hay uno en este sistema, los módulos de E/S donde se conectan todas las entradas y salidas de motores, variadores, elementos de sensórica y de posicionamiento, etc.

La comunicación industrial que se ha establecido entre los diferentes equipos a nivel de autómata se realiza a través de Ethernet Industrial o también conocido como Profinet (PN). Es el siguiente nivel jerárquico de la [Figura 1.12](#), siendo el nivel superior comunicación por Ethernet con el sistema SGA. La diferencia más importante entre Ethernet y Profinet está en los protocolos de comunicación y de preferencia en el modo de transmisión de datos, además del tipo de cable que Ethernet tiene 4 pares trenzados (8 hilos) y Profinet 4 hilos.

También es importante comentar la introducción de conmutadores/switches dentro de la red general. El motivo de su aparición es que la CPU del autómata únicamente acostumbra a presentar una conexión de PN. En algunas CPU más avanzadas es posible encontrar dos o tres interfaces de PN. Aun así, siguen siendo interfaces insuficientes para la conexión de todos los módulos y equipos que deben conectarse al autómata y es por ello que es fundamental agregar a la arquitectura de red switches (equipos Scalance en Siemens) para dar cabida al número de conexiones requeridas por el sistema, tantos como sea necesario según la magnitud del sistema.

Por último, también se debe nombrar la introducción de los puntos de acceso Wireless. En el sistema desarrollado hay máquinas que tienen difícil acceso o bien tienen su armario eléctrico embarcado en su plataforma que está en continuo movimiento e interesa reducir el cableado. Por ello, si se introduce la comunicación de datos a través de Wireless, se evita el cableado de PN desde el autómata al armario de estas máquinas. La comunicación Wireless a nivel industrial se suele realizar basándose en la tecnología y estándares de Wi-Fi (IEEE 802.11), de forma que se instala un punto de acceso Wi-Fi en el armario principal junto al autómata y después en cada máquina que se pretende comunicar a través de Wi-Fi se le instala en su armario un módulo cliente que recibirá la señal Wireless emitida. Una máquina que tendrá comunicación inalámbrica será el SAM, por ejemplo. El resto de máquinas del aparcamiento, al estar en una posición fija, se realiza comunicación por cable PN.

A continuación, se muestra la [Tabla 4.1](#) en la que se definen los equipos con los que se realiza la comunicación por cable y la [Tabla 4.2](#) en que se realiza por Wireless. En todas ellas se indica un switch pero, como ya hemos comentado, el número de switch se puede valorar teniendo definida la instalación al completo y sabiendo las conexiones de PN necesarias. Los switches que se han seleccionado para esta instalación tienen 8 puertos PN.

Tabla 4.1. Elementos para comunicar datos por cable.

POS.	Referencia	Marca	Descripción	Origen	Destino
1	6ES7513-1AL00-0AB0	Siemens	Simatic S7-1513-1 CPU 450K	✓	
2	6ES7954-8LE02-0AA0	Siemens	Tarjeta Memoria 12MB	✓	
3	6GK5208-0BA00-2AA3	Siemens	Scalance X208	✓	
4	6XV1870-3QE50	Siemens	Mts. Cable Industrial Ethernet	✓	✓

Tabla 4.2. Elementos para comunicar datos inalámbricamente.

POS.	Referencia	Marca	Descripción	Origen	Destino
1	6ES7513-1AL00-0AB0	Siemens	Simatic S7-1513-1 CPU 450K	✓	
2	6ES7954-8LE02-0AA0	Siemens	Tarjeta Memoria 12MB	✓	
3	6GK5208-0BA00-2AA3	Siemens	Scalance X208	✓	
4	6GK5788-2AA60-2AA0	Siemens	Access Point Scalance W788-2 PRO	✓	
5	6GK5734-1FX00-0AA0	Siemens	Módulo Cliente Scalance W723-1		✓

En la Figura 4.6, se muestra la forma en que se realiza la configuración de la arquitectura de red en nuestro software de trabajo, TIA.

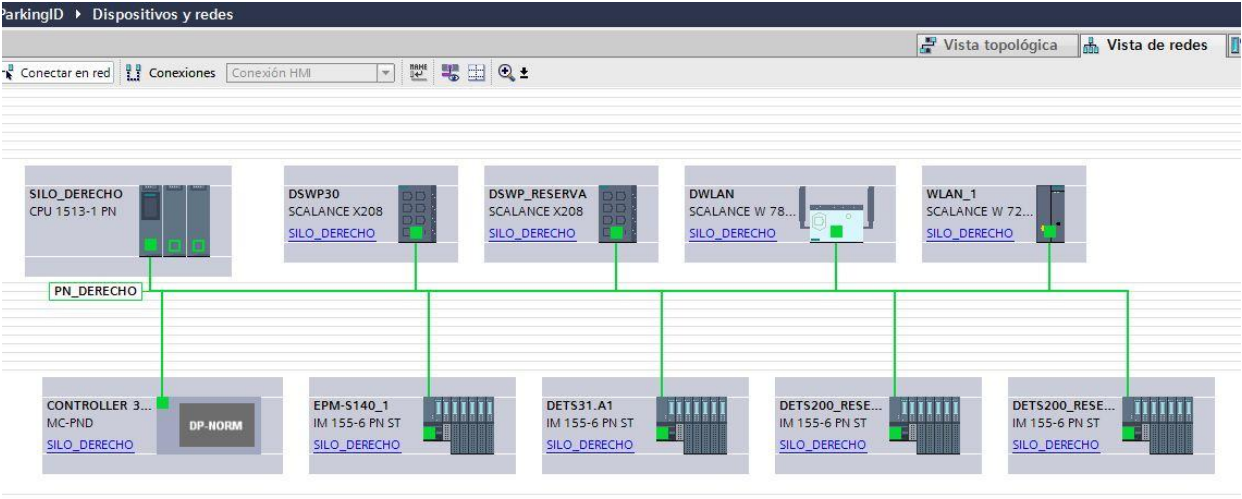


Figura 4.6. Configuración arquitectura de red en TIA.

4.4. Diseño mecánico

De forma resumida y con carácter introductorio para poner en situación del tipo de aparcamiento que se pretende automatizar se ha agregado este apartado al proyecto. De esta forma, se ofrece la información necesaria de las máquinas que forman la instalación y su funcionamiento y forma de maniobrar para poder entender la posterior automatización de máquinas que se desarrolla en el cuerpo principal del proyecto. Las máquinas que intervienen en los procesos de entrada y salida del aparcamiento se pasan a describir a continuación.

4.4.1. BOX

Se trata de una plataforma que está formada por un conjunto de máquinas y sistemas. Dentro de su plataforma hay 2 puertas automáticas, donde una de ellas es la que comunica el box con el exterior del aparcamiento y otra la que lo comunica con el interior donde se sitúan el resto de máquinas y las celdas donde estacionar el vehículo. La presencia humana dentro del aparcamiento llega hasta el box, a partir de la puerta interior del aparcamiento, queda totalmente excluida la presencia humana siendo todo el proceso automatizado. La plataforma donde se posiciona el vehículo es, al mismo tiempo, una plataforma giratoria que permite hacer giros de 180° para posicionar según convenga el vehículo.

Por tanto, el box está compuesto por 2 puertas y una mesa giratoria y todas estas máquinas son controladas por el PLC. Además, también hay presencia de un sistema de accesos y control de pago de los vehículos al aparcamiento, siendo un sistema independiente del autómata pero que presenta finalmente una integración y comunicación con el autómata para que todos funcionen con el orden lógico que se requiere.

4.4.1.1. Puerta automática

El tipo de puerta empleada es una puerta industrial enrollable cuyo control se realiza a través del PLC del aparcamiento. Esta puerta presenta un variador de frecuencia, a través del cual el autómata controla los movimientos que ordena realizar a la puerta. En este caso es sencillo, puesto que solo tiene 2 posibles movimientos cada una de las puertas, abrir la puerta o bajarla. No se plantea la posibilidad de parar la puerta en la mitad de su recorrido ni nada por el estilo, excepto si salta alguna emergencia importante que bloqueamos la instalación.

El diseño de este tipo de puertas suele ser comercial, existiendo muchas empresas que se dedican a ello y ofrecen precios muy competitivos al fabricar muchas unidades del mismo producto. Por ello, no se pretende realizar el diseño de la puerta, tan solo seleccionar el mejor fabricante y ajustar el diseño del box para dar cabida a una puerta interior y exterior. La parte más importante será ajustar bien el tipo de motor que tenga la puerta y su variador de frecuencia para que sea compatible con la configuración del autómata programable que se instale en el aparcamiento y del que se hablará más adelante. En las [Figura 4.7](#)

y [Figura 4.8](#) se puede observar un ejemplo del tipo de puerta automática que se está buscando para nuestro aparcamiento automatizado.



[Figura 4.7](#). Prototipo puerta automática 1.



[Figura 4.8](#). Prototipo puerta automática 2.

4.4.1.2. Mesa de giro

La mesa de giro, como ya se ha comentado, se trata de una plataforma integrada dentro de la propia plataforma del box y es la que permite poder realizar los giros necesarios en el vehículo para colocarlo en la orientación necesaria para almacenar o extraer del aparcamiento. Para ello, se desarrolla un sistema de transmisión de potencia simple entre motor y mesa a través de una polea motriz que transmite la potencia a una polea conducida, que en su caso es la propia mesa de giro. El cálculo de transmisión de potencia que se realiza, así como el motor asociado se desarrolla en el [Anexo 2](#).

La mesa de giro que forma parte del box del aparcamiento se asemeja al prototipo que se muestra en la [Figura 4.9](#), sin ser esta la última versión de mesa de giro planteada ya que debe realizarse la integración con el resto de parte que forman el box. Al ser un prototipo de mesa de giro, solo se muestra la estructura principal de la máquina en la que se basa su movimiento, sin mostrarse ni la integración con el box ni el mecanismo de transferencia que tendrá lugar con la plataforma de movimiento horizontal. De todos modos, será muy similar y a modo de funcionamiento presenta este funcionamiento. En la [Figura 4.7](#) y [Figura 4.10](#) se puede observar como el box al que accede el vehículo presenta una plataforma giratoria, muy similar a la que se propone en este diseño de box con mesa giratoria integrada en la misma plataforma.

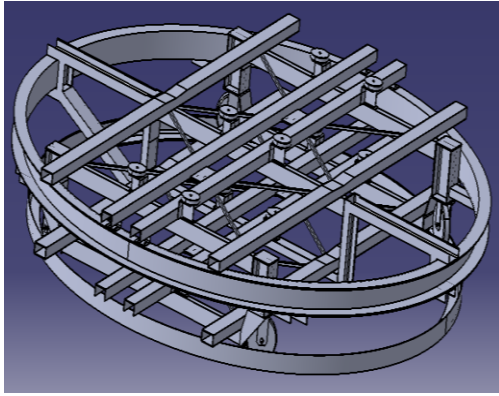


Figura 4.9. Prototipo 1 mesa de giro. Figura 4.10. Prototipo 2 mesa de giro.

4.4.2. Plataforma de movimentación horizontal – SAM

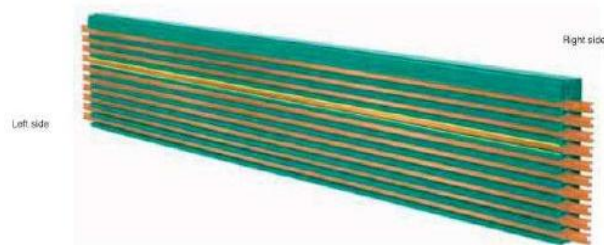
Primero de todo indicar que la abreviatura de SAM no corresponde a ninguna combinación de siglas, es simplemente el nombre comercial que se le ha dado a esta máquina y siempre que se nombre SAM se está refiriendo a la plataforma de movimentación horizontal. Esta máquina es la gran atracción del sistema de aparcamiento que se ha desarrollado en este proyecto y lo que hace innovador y diferente este desarrollo de proyecto del resto antes realizados en otras instalaciones. El diseño del SAM realizado le permite acceder tanto al BOX para recoger o entregar el vehículo, como al elevador para el cambio de planta como a las celdas para entregar o recoger los vehículos. Este hecho hace ganar un tiempo muy valioso en las maniobras a efectuar, con lo que se aumenta el caudal de vehículos admisible por la instalación y con ello la explotación económica del aparcamiento se ve muy beneficiada.

El sistema consiste en un motor de traslación que le permite desplazarse en horizontal por los pasillos del aparcamiento. Para ello, se necesita un suministro de potencia eléctrica a lo largo del recorrido que realiza. Para evitar tener que hacer largas tiradas de cableado de potencia, se ha optado por una solución que evita el cableado y que en líneas de automoción es muy común su utilización, carriles electrificados o también conocidos como electrovías [11].



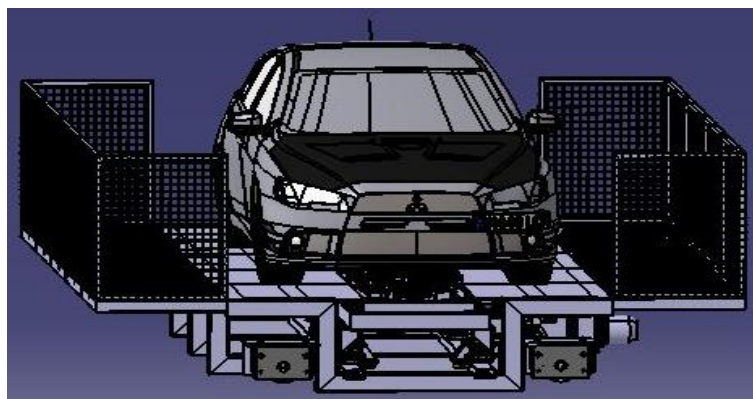
Figura 4.11. Electro vías en línea de montaje de automoción.

En la [Figura 4.11](#) se observa como los skids cuelgan de las electrovías sin necesidad de cableado, puesto que la energía eléctrica se la está suministrando la electrovía. Un skid es la estructura que soporta al vehículo que está siendo montado. Una electrovía consiste en la transmisión de la energía eléctrica a través del principio de inducción, haciendo un símil con la típica transferencia entre la bobina del primario y del secundario de un transformador. La potencia transmitida puede alcanzar valores considerables, necesarios para muchos motores de alto voltaje y que deben ser alimentados en trifásica. Además de la potencia, también es posible dedicar algunos de los conductores para hacer transmisión de datos, muy necesaria en los actuales sistemas automatizados que controlan estas líneas de montaje en automoción, en almacenes automatizados y como en este proyecto, aparcamiento automatizados. En la [Figura 4.12](#) se observa un tramo de electrovía del fabricante Vahle, donde se puede ver los conductores que lo forman. En este caso se observan 10 conductores, pero este parámetro es variable y se define en función de las necesidades que tenga la instalación.



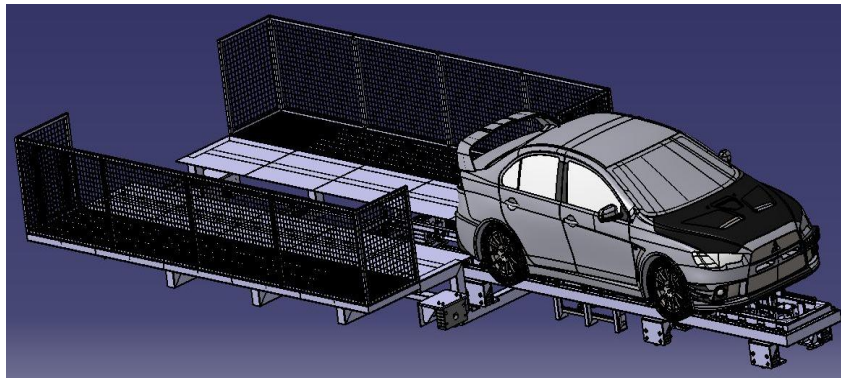
[Figura 4.12.](#) Tramo de electrovía VKS10-VAHLE [11].

El SAM, como ya se ha comentado, se desplaza horizontalmente por los carriles electrificados para acceder a cada una de las celdas donde almacenar los vehículos, a los elevadores que se encuentra uno a cada extremo del rail electrificado y a los boxes que están en la planta baja del aparcamiento a los extremos del rail, antes de llegar a los elevadores. En la [Figura 4.13](#) se muestra la parte de la máquina del SAM que permite su movimiento en traslación, a lo largo del carril electrificado dispuesto.



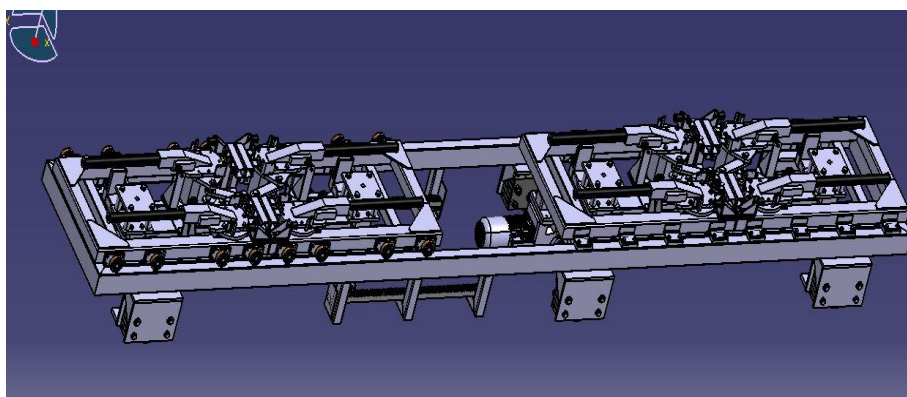
[Figura 4.13.](#) Prototipo de SAM.

En esta vista se puede observar la plataforma de movimentación horizontal al completo, con todas las máquinas dentro de ella (traslación, carro y posicionador). Si quisiéramos ver cuál es la parte únicamente del carro, es decir, la parte de plataforma que cuando se acciona permite al vehículo pasar de la zona del rail a estar sobre las celdas o nichos donde se depositan y restan almacenados hasta su recogida, se puede observar en la [Figura 4.14](#), donde se muestra el carro sacado en posición de celda.



[Figura 4.14](#). Carro del SAM posición entrega vehículo en celda.

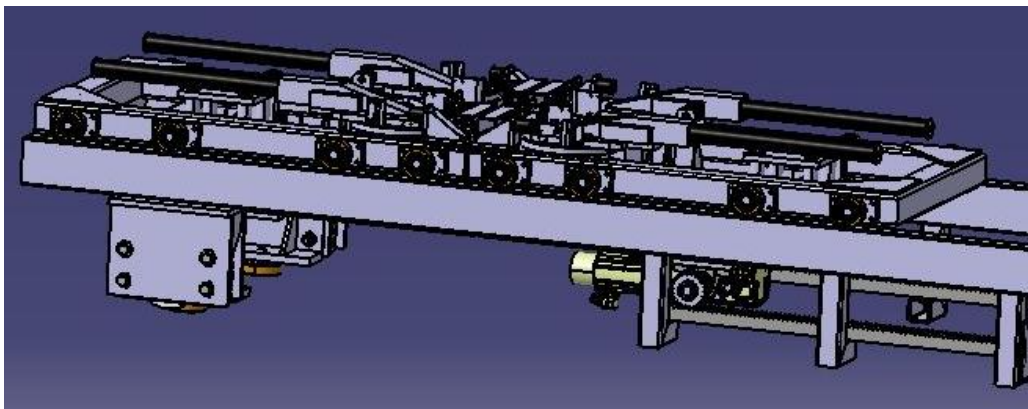
En la imagen mostrada da la impresión de que el vehículo está sobre una plataforma sin seguridades y sin ningún mecanismo que sujete de forma segura al vehículo, pero no es así. El vehículo tiene un sistema de rodillos delanteros y traseros que sujetan de forma segura sus ruedas para que no caiga. Este sistema de rodillos se acciona mediante un sistema neumático. En la [Figura 4.15](#) se puede apreciar el sistema de rodillos que se comenta, así como la sujeción que realiza sobre las ruedas del vehículo.



[Figura 4.15](#). Sistema de rodillos neumáticos SAM.

Cuando los rodillos se abaten y forman un ángulo de 90° respecto a la plataforma del carro, cogen a la rueda de forma que queda toda la estructura del vehículo sujeta de forma segura.

La distancia entre el eje de las ruedas delanteras y el eje de las ruedas traseras difiere según el vehículo y, por ello, se requiere algún sistema o mecanismo capaz de ajustar la posición de alguno de los ejes de las ruedas del vehículo. Para solventar esta problemática se ha desarrollado un mecanismo en nuestro SAM llamado posicionador, que su función es ajustar la posición de los rodillos de acuerdo con la posición del eje de las ruedas. El mecanismo posicionador funciona con un motor que lo acciona tanto para delante como para detrás, siendo su posición inicial el punto medio del carro del SAM y su posición final el punto final del carro. Inicialmente, el posicionador siempre estará en su posición inicial y cuando se abatan los rodillos traseros para sujetar las ruedas traseras del vehículo, el posicionador irá avanzando hasta que detecte las ruedas traseras, punto en el que se detiene y se abaten los rodillos traseros. En la [Figura 4.16](#) se puede apreciar el mecanismo del posicionador.



[Figura 4.16](#). Prototipo de posicionador SAM.

Como se puede observar, el tren trasero tiene unas ruedas que permiten, mediante el motor que se observa por debajo de la bancada, mover el posicionador hasta situarse en la posición donde se encuentra el eje de ruedas trasero del vehículo. En cambio, en el tren delantero, como se aprecia en la [Figura 4.15](#), no presenta esas ruedas al no tener que desplazarse y estar fijo.

4.4.3. Elevador

El elevador es una plataforma vertical, que permite al SAM poder hacer los cambios de planta necesarios. En este caso particular, el elevador es de 4 columnas formando una estructura que se extiende desde la Planta 0 hasta la Planta 3 de la instalación. La complejidad del elevador que se ha desarrollado recae en que debe permitir que la plataforma desarrollada del SAM pueda acceder dentro de la plataforma del elevador, de forma que el elevador suba o baje con el SAM en su interior y así poder cambiar de planta el SAM, ya que está máquina de manera independiente solo presenta movimiento de traslación.

Dadas las condiciones que se plantean, el emplazamiento que debe tener el elevador es a los extremos de los pasillos del aparcamiento. La forma en que se

controla la posición del elevador y por tanto su movimiento, es situando sensores en cada una de las plantas. Al ser movimientos fijos, solo hay 4 puntos posibles (Planta 0, 1, 2 o 3), y con instalar unos finales de carrera en cada planta es posible detectar y controlar la posición del elevador en cada nivel. Además, para afinar en el posicionamiento, lo ideal también sería instalar un telémetro para tener conocimiento en todo momento del recorrido de la posición del elevador.

4.5. Elementos de diseño principales

De acuerdo con [Apartado 1.4.5](#) introductorio, donde se han descrito teóricamente los principales elementos de una instalación genérica, en este apartado se pasa a especificar los dispositivos en concreto que forman parte de la instalación de aparcamiento automatizado desarrollada.

4.5.1. Autómata lógico programable – PLC

El desarrollo del sistema de automatización de este proyecto se ha realizado con un único PLC, pues el volumen del sistema a controlar es perfectamente asumible por un solo autómata. Se ha seleccionado uno de los más modernos autómatas de la multinacional alemana Siemens, que actualmente es uno de los autómatas que más se utilizan a nivel mundial en el sector industrial, la CPU 1513-1 PN de la gama S7-1500. Este autómata presenta un gran rendimiento y es capaz de controlar sistemas automatizados de gran tamaño y actividad, de forma que no habrá problemas de *performance* para soportar toda la carga de trabajo que se le pida en este aparcamiento y podrá asumir posteriores modificaciones y ampliaciones sin necesidad de cambiar el autómata. Las máquinas que estarán controladas por este PLC, serán:

- 4 puertas automáticas
- 2 mesas de giro
- 2 elevadores
- 1 plataforma de movimentación horizontal – SAM

El PLC seleccionado presenta una interfaz de comunicación PN, con tal de adecuarse a la comunicación definida en la arquitectura de red del sistema. De esta forma esta interfaz es conectada al switch definido en la arquitectura para ampliar las conexiones por PN del sistema. Además de los equipos conectados a la arquitectura de red y ya nombrados, se deben conectar a esta arquitectura los módulos E/S y que su modelo depende exclusivamente del autómata que se integre y por ello se hace referencia a ellos en este punto. Los módulos E/S que se conectan a la red se comunican también a través de PN y se dirigen al switch, siendo éste el que realiza comunicación correspondiente con el PLC. Los módulos E/S presenta el nombre de ET200SP y son racks con módulos tanto de entradas como salidas que se conectan, pudiéndose observar en la [Figura 4.6](#).

4.5.2. Variadores de frecuencia y motores

4.5.2.1. Variadores de frecuencia

En la mayoría de los casos en que se pretende actuar sobre motores para realizar un sistema de control avanzado se requiere el uso de variadores de frecuencia, de modo que el PLC actúe sobre el variador y éste último sobre el motor siguiendo en todo momento los procesos y ejecuciones que dirige el autómatas. De lo contrario, el control sobre el motor no sería igual de óptimo, la durabilidad del motor sería inferior al actuar de forma más abrupta sobre él y, en lugar de generar rampas de aceleración y deceleración que permiten suavizar los cambios de velocidad.

En este proyecto, se utilizan variadores de frecuencia en todas las máquinas del aparcamiento. Además, algunas de las máquinas al tener diferentes movimientos posibles dentro de ella misma, así como diferentes accionamientos y motores a controlar requieren de más de un variador de frecuencia. Este es el caso del SAM. Esta máquina tiene un variador de frecuencia para su movimiento de traslación a lo largo del carril electrificado, otro variador de frecuencia para el carro que se despliega para realizar la entrega del vehículo a la celda de almacenamiento, así como también su recogida. Por último, esta máquina también tiene un mecanismo llamado posicionador, que sirve para ajustar los rodillos en la posición exacta del tren de ruedas trasero del vehículo, y éste presenta otro variador de frecuencia.

En cuanto a la selección del proveedor de variadores de frecuencia, siempre se abre un gran dilema en cualquier etapa inicial de diseño, donde se debe decidir si utilizar variadores de frecuencia del proveedor de los autómatas o variadores de frecuencia del proveedor de motores. Basándose en otras instalaciones y proyectos, en la mayoría de los casos se recomienda utilizar variadores de frecuencia asociados al proveedor de motores, puesto que da menos problemas de comunicación y control que si se instalan variadores del fabricante de autómatas. Por ello, en este proyecto se han seleccionado los variadores del proveedor Lenze, siendo éste el proveedor de motores junto con Sew-Eurodrive. Los variadores de frecuencia de Lenze se integran a la perfección tanto con motores propios como con motores Sew-Eurodrive, dado que siempre han trabajado de la mano.

Al ser variadores de frecuencia de un proveedor diferente de los autómatas, requiere de una serie de pasos extras para poder configurarlo en TIA. Por consiguiente, se deben configurar los archivos GSD en caso de comunicación por Profibus y GSDML en caso de comunicación por Profinet, que es la comunicación utilizada en este proyecto. Estos archivos son generados por el fabricante para cada uno de sus equipos, en este caso Lenze. En la [Figura 4.17](#) se muestra como configurar los archivos GSDML en TIA para establecer la comunicación entre el equipo de Lenze y el autómatas Siemens. Una vez introducidos los datos necesarios (archivo GSDML) para poder instalar en la arquitectura de red el componente, nos saldrá la opción de poderlo seleccionar y conectar a la red, como se comprueba en la [Figura 4.18](#).

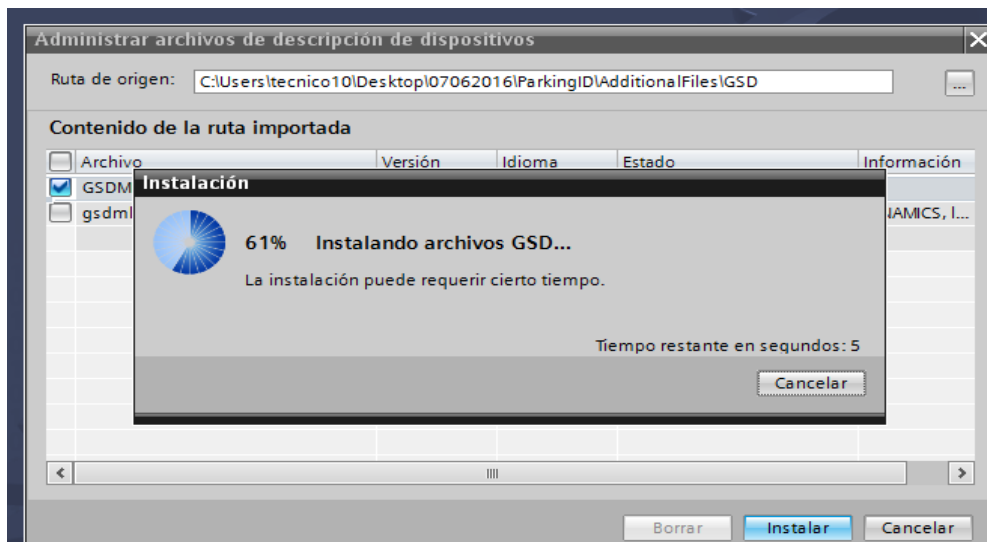


Figura 4.17. Configuración archivos GSDML Controller 3221C.

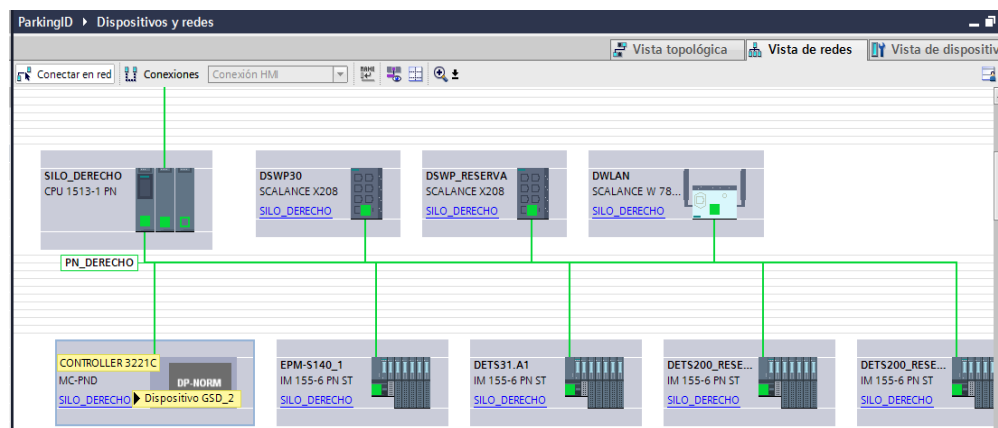


Figura 4.18. Instalación 3221C en arquitectura del sistema.

El Controller 3221C es un controlador de Lenze, que puede desarrollar las funciones de un autómata programable también, pero con menor capacidad, es un PLC de gama baja por así decirlo. El motivo de conectar nuestro S7-1500 a otro autómata (Controller 3221C de Lenze) es para evitar conectar individualmente el autómata de Siemens a cada variador de frecuencia de Lenze. De esta forma, solo hacemos una comunicación entre Siemens y Lenze y después el controlador de Lenze se comunica con los variadores de su mismo fabricante instalados. Este es el controlador que gestionará los 3 variadores de frecuencia que hemos comentado que tiene la plataforma de movimentación horizontal. De esta forma, el 3221C recibe las órdenes y las comunica a sus correspondientes equipos conectados. El esquema de la arquitectura de hardware planteada sería el que se muestra en la [Figura 4.19](#). Como se puede observar solo hemos configurado el 3221C en la arquitectura definida en TIA y los variadores de frecuencia no aparecen, puesto que éstos se configuran en una interfaz que nos desarrolla nuestro fabricante Lenze.

ambos equipos tengan conocimiento de que tipo de variable es, en qué formato será transmitida y después cada uno la utiliza según lo tenga desarrollado en su programación.

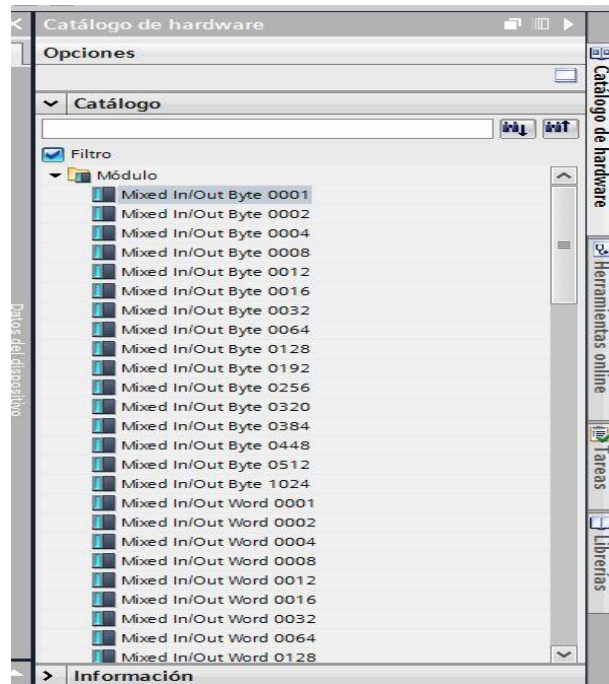


Figura 4.20. Telegrama comunicación entre S7-1500 y 3221C.

4.5.2.2. Motores

En cuanto a los motores, se tendrá uno por cada máquina de la instalación, al igual que con los variadores de frecuencia y más de uno como es el caso del SAM. Una vez se ha comunicado el autómatas satisfactoriamente con el variador de frecuencia, la comunicación con el motor es todo a través de hardware, nada de software. Esto es posible gracias al telegrama que se ha desarrollado a nivel de software con todos los parámetros fijados y cumplimentados a consciencia para que el motor actúe de forma correcta en la instalación donde se integra. Es importante que el variador de frecuencia sea seleccionado de acuerdo con las exigencias de performance del motor y sean compatibles entre ambos.

4.6. Desarrollo Programación del PLC

En este apartado se realiza la descripción del procedimiento que se ha seguido para llevar a cabo el desarrollo de la programación del S7-1500 seleccionado para el proyecto. Para ello, se han diferenciado 3 bloques de programa diferentes entre los cuales se ha realizado todo el sistema de automatización y se han integrado de forma que trabajen conjuntamente entre ellos. Los bloques de programa son los siguientes:

- **Bloque de organización (OB):** En ellos se encuentran las llamadas y ejecuciones que se deben realizar cíclicamente durante el proceso, es decir, cada *scan cycle*³. También se utilizan bloques de organizados que solo son ejecutados puntualmente, por ejemplo, acto seguido de cambiar del estado *Reset* a *Run* del autómat. En este proyecto se han utilizado estos bloques para realizar la llamada de las funciones necesarias durante el procedimiento de maniobra de máquinas, para escanear las entradas físicas fundamentales al inicio de la ejecución, así como para programar los procesos que seguir en caso de error en el sistema.
- **Bloque de función (FC):** En las funciones se encuentra el cuerpo principal de todo el proyecto que se ha desarrollado, programando toda la lógica de cada una de las maniobras posibles de todas las máquinas y sistemas del aparcamiento. También se han programado las secuencias de los procesos principales del aparcamiento, entradas y salidas, en estos tipos de bloques.
- **Bloques de datos (DB):** En estos bloques se ha programado, en lenguaje AWL, el proceso de copiar todas las variables de entradas y salidas que tiene conectadas el sistema de aparcamiento en la memoria del autómat, que es una tarjeta de memoria micro SD que tiene conectada. De esta manera, aseguramos tener una copia de seguridad de los valores y procesos que tienen lugar en el sistema en todo momento. Se podría trabajar sin esta copia y actuar directamente sobre las entradas y salidas físicas del aparcamiento, pero de esta forma damos una doble seguridad al sistema.

En la [Figura 4.21](#) se pueden observar los bloques de programa que se han utilizado en este proyecto.

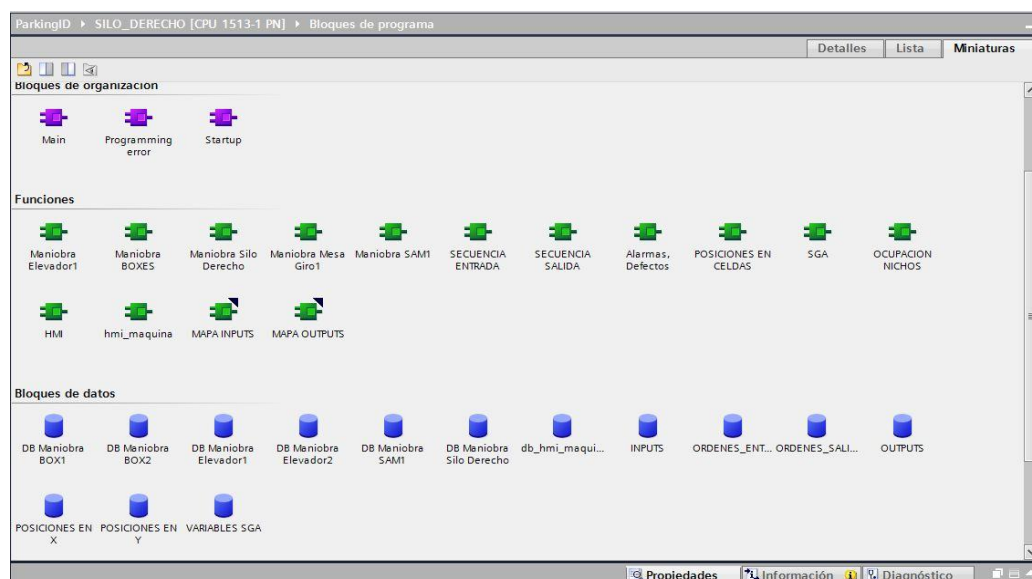


Figura 4.21. Bloques de programa utilizados.

³ Scan cycle: El ciclo de scan de un autómat es una secuencia de operaciones que realiza el autómat de manera repetitiva una vez que entra en modo RUN. Al tiempo total en que el autómat tarda en ejecutar todas estas operaciones se le llama tiempo de ciclo de scan y se suele medir en milisegundos. [18]

4.6.1. Secuencias de los procesos – Grafcets

En un proyecto de desarrollo de programas de control para procesos secuenciales como el que se realiza, la metodología *Grafcet* permite definir y especificar de manera clara y sin ambigüedades las secuencias y respuestas que ofrecen los procesos automatizados que se programan. Por ello, se han definido y especificado las secuencias de los procesos de entradas y salidas que se desarrollan en este proyecto. En ellos se muestran las secuencias lógicas principales, a partir de las cuales se ha desarrollado el algoritmo lógico para conseguir que los procesos tengan lugar de acuerdo a estas especificaciones técnicas que se dan.

Al tener dos procesos principales en la instalación como son las entradas y las salidas, se ha definido un grafcet para cada uno de ellos, donde se especifica la secuencia que se sigue en cada proceso, separando algunos subprocesos con cierto volumen en un grafcet diferenciado y referenciándolo en el general. Por consiguiente, resultan dos grafcets generales (entrada y salida), que tienen cada uno de ellos 2 subprocesos realizados a parte como son el extraer el vehículo del box y depositar el vehículo en la celda para el proceso de entrada y, extraer el vehículo de la celda y depositarlo en el box de salida para el proceso de salida.

Es importante dejar constancia de que los grafcets realizados y mostrados en la memoria del proyecto están simplificados y el procedimiento, secuencias lógicas y algoritmos programados en TIA van más allá de lo que se muestra en estos esquemas.

A continuación, se muestran los 3 grafcets resultantes para cada proceso de los comentados.

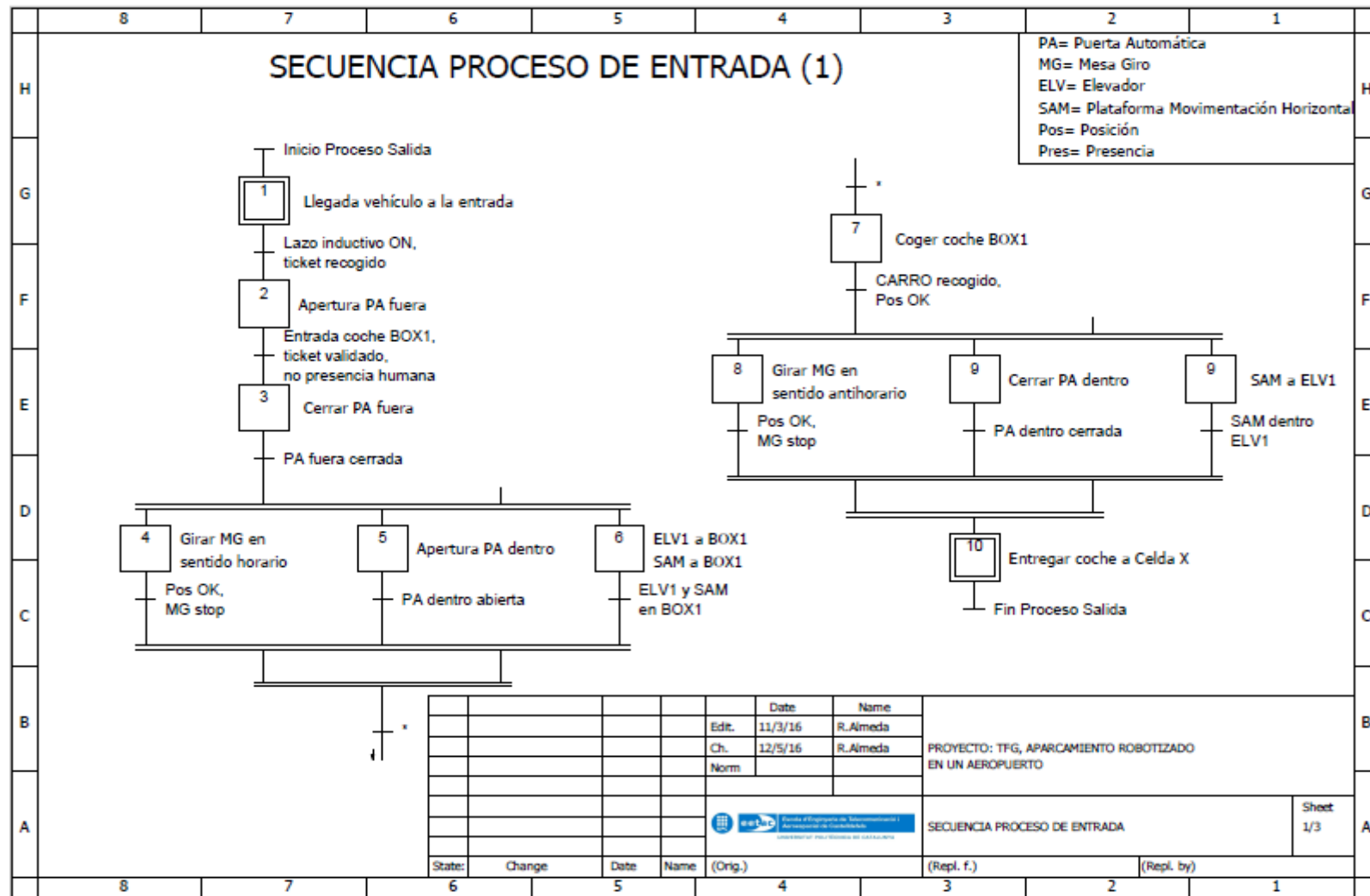


Figura 4.22. Grafcet general, secuencia del proceso de entrada.

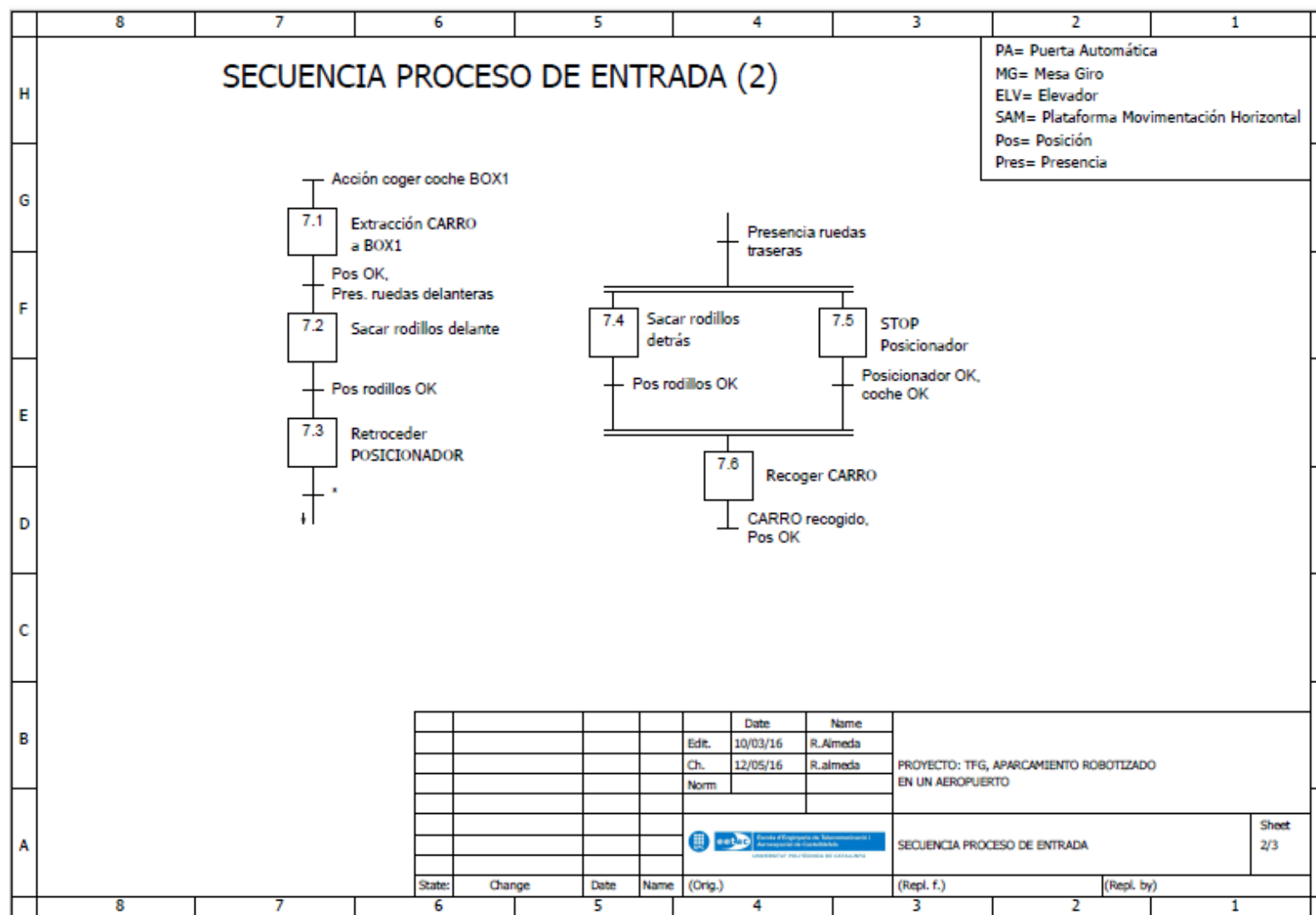


Figura 4.23. Grafcet acción coger coche BOX 1, secuencia del proceso de entrada.

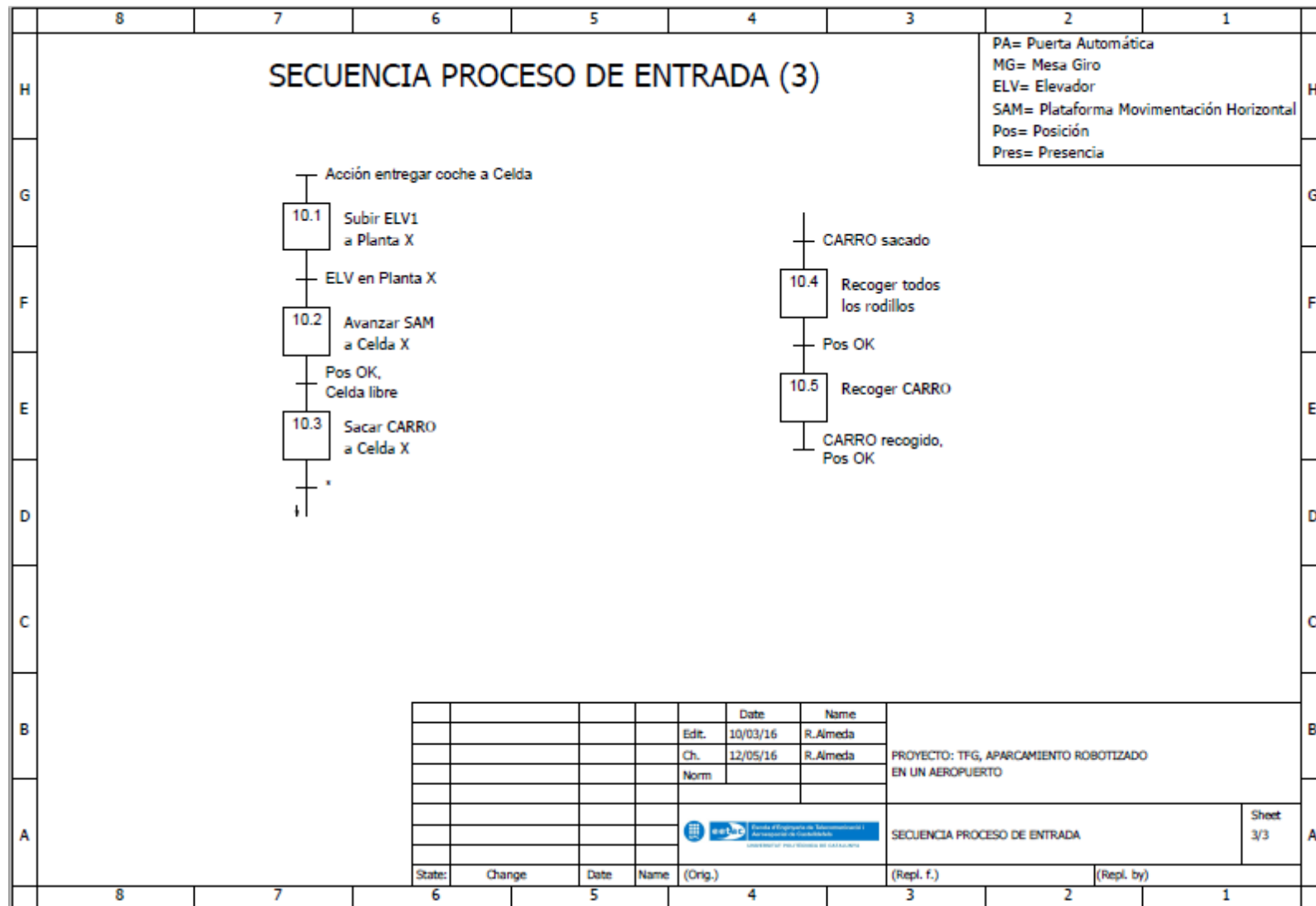


Figura 4.24. Grafcet acción entrega coche a celda, secuencia del proceso de entrada.



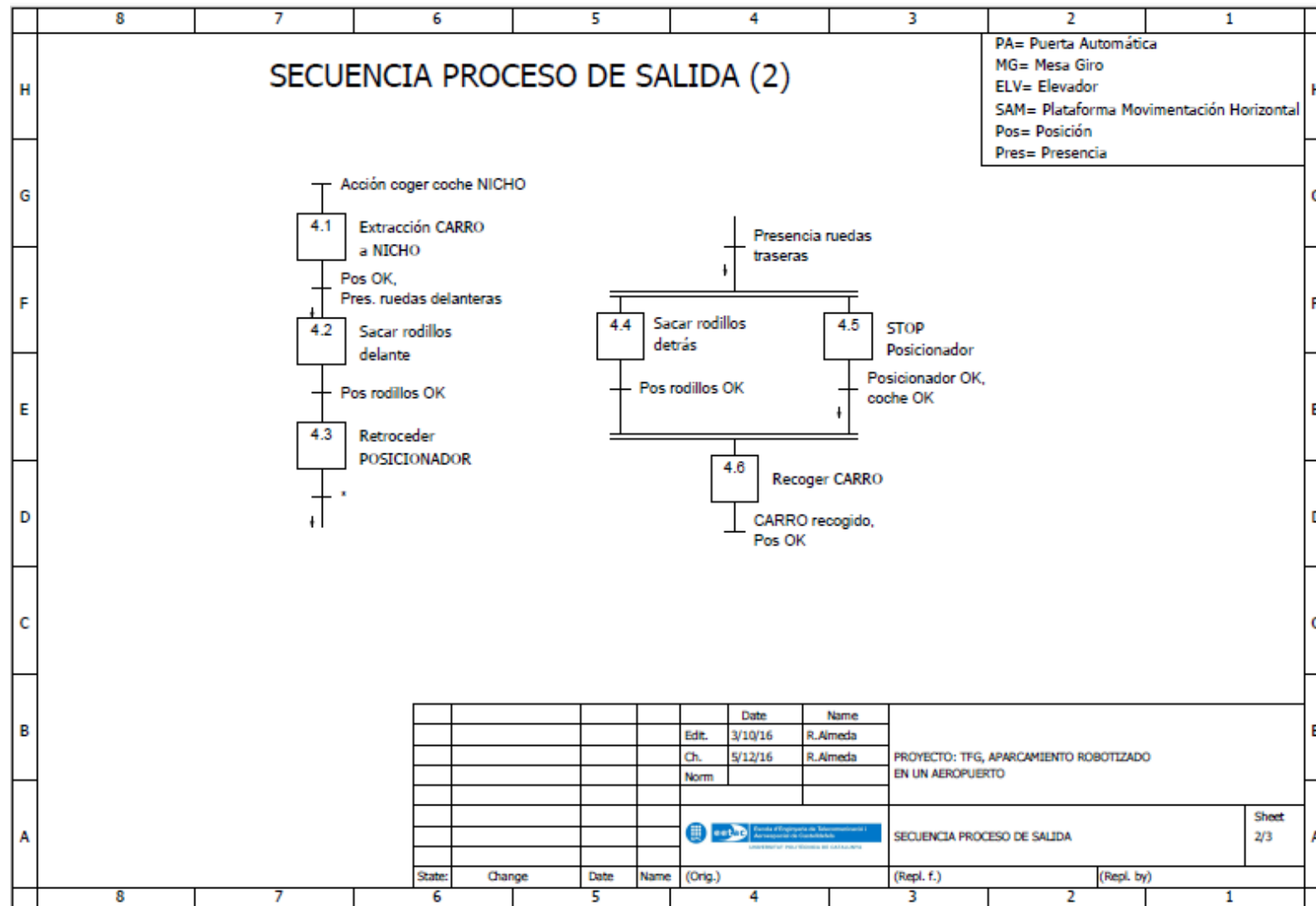


Figura 4.26. Grafcet acción entrega coger coche nicho, secuencia del proceso de salida.

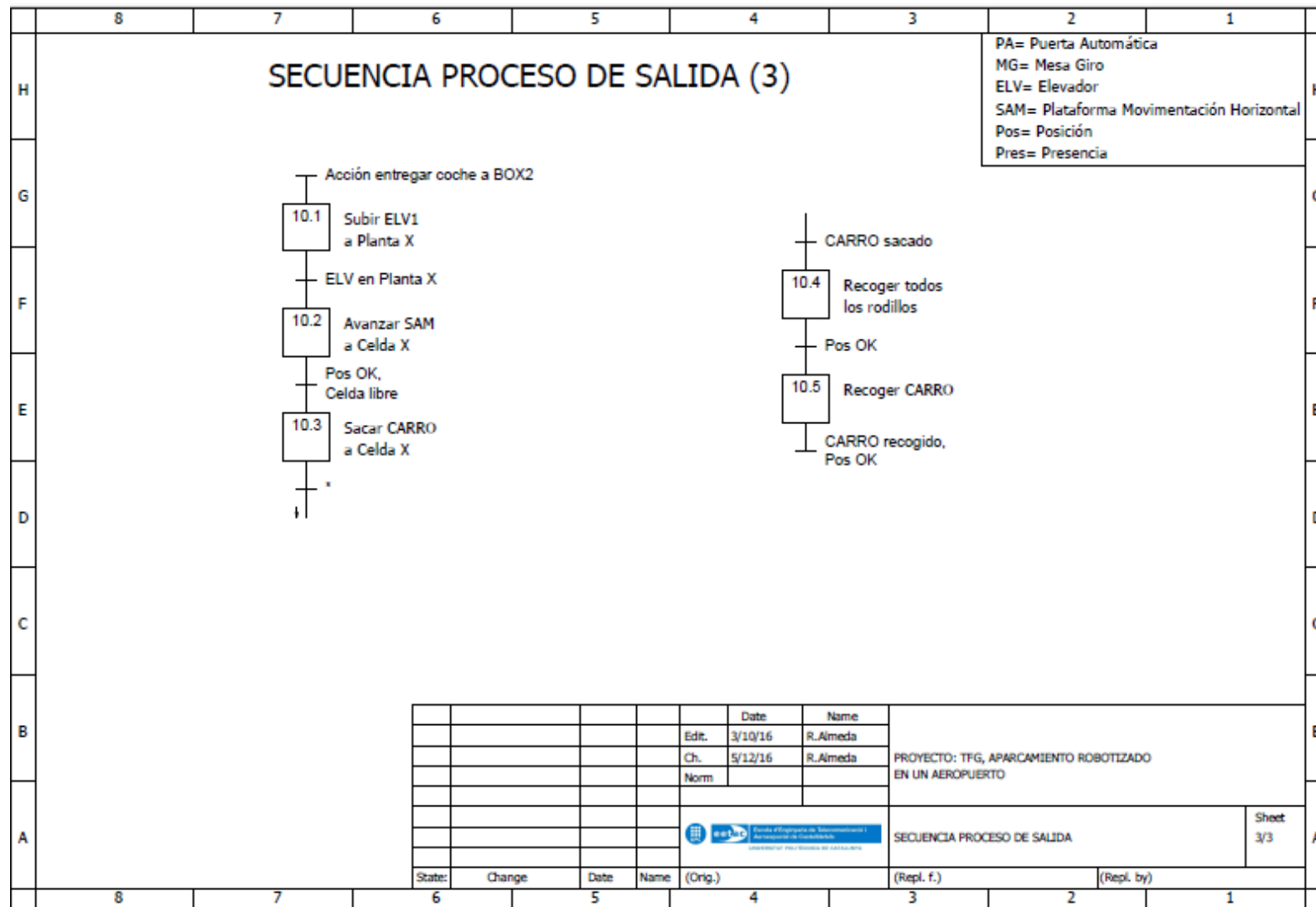


Figura 4.27. Grafcet acción de entregar coche a BOX 2, secuencia del proceso de salida.

4.6.2. Maniobras

Las funciones de maniobra del proyecto hacen referencia a la programación realizada a fin de conseguir las maniobras de movimentación de los sistemas mecánicos que tienen las máquinas del aparcamiento. Para conseguir ejecutar todas las posibles maniobras, es fundamental desarrollar una programación basada en los recursos físicos que se tienen, es decir, en los elementos de sensórica. Por ello, la programación combina algoritmos lógicos con los recursos físicos de los que se dispone con tal de que sea posible maniobrar con las máquinas de forma segura y con conocimiento de la posición real.

Todas las máquinas tienen una acción de rearme donde, sin ninguna alarma ni defecto en la instalación, se da potencia a todos los equipos y se encienden los motores. Una vez la máquina está rearmada, tiene 2 estados de funcionamiento, en manual o en automático. En automático la interacción humana es nula, excepto si se realiza una simulación desde software sin estar presente en la instalación, donde la interacción humana es necesaria para forzar las señales físicas que no reciben impulso al no tener la instalación. En caso de poner el sistema en modo manual, se requiere un operario que desde pupitre o a través de un sistema SCADA ejecute las diferentes órdenes que desee para mover la instalación. En automático, al tener todas las órdenes programadas en el PLC, es el propio PLC el que va ejecutando las órdenes según la secuencia programada y se realizan los procesos de entrada y salida de vehículos al aparcamiento de manera autónoma.

Además, el aparcamiento que se ha desarrollado depende de un armario eléctrico principal, el cual es el primero que debe rearmarse y chequear que todas las seguridades están correctas para permitir el rearme de cualquier otra máquina en la instalación. Una vez esté rearmado el armario principal y se ponga en modo manual o automático, se podrán también rearmar las diferentes máquinas de manera individual y poner el sistema a punto para maniobrar.

En conclusión, habrá una función de maniobra para cada grupo de maquinaria y, además, otro para el armario principal de la instalación de forma que se individualiza toda su ejecución. A continuación, se hace un resumen del contenido de las principales funciones que presenta el sistema automatizado que se ha programado, para consultar el programa entero con todos los detalles, se puede consultar el [Anexo 4](#), donde se adjunta el informe generado en TIA.

4.6.2.1. FC7 – Maniobra BOXES

En esta maniobra se realizan los procesos de maniobra para mover las máquinas que presenta cada uno de los boxes de la instalación, siendo el box 1 de entradas y el box 2 de salidas. Dentro de cada box, como ya se comentado, hay 2 puertas automáticas que mover y una mesa de giro. Al tener ambos boxes sus bloques de datos individuales, las variables para cada box son diferentes y, gracias a ello, se pueden fusionar las maniobras de cada box y tener una sola función de maniobra de boxes. De esta manera, dentro de la maniobra de boxes se realizan las ejecuciones de las diferentes maniobras posibles para cada uno de los boxes,

con las variables correspondientes para cada box y quedan totalmente independientes unas de otras.

Las ejecuciones, para el caso de las puertas, requieren que no haya presencia de nada en el recorrido de las puertas. Además, también se requiere que el vehículo presente dentro del box (si lo hay), no supere los límites delantero, trasero, en altura y laterales estipulados para el box. En caso de cumplirse estas condiciones se podrán subir o bajar las puertas y su inicio y final de recorrido se controlará con los finales de carrera dispuestos para este fin.

Se incluyen, también, las señales correspondientes de defectos y alarmas para cada situación en que no se tiene el comportamiento y estado que se esperan tener.

4.6.2.2. FC8 – Maniobra Mesa de Giro

A pesar de ser una máquina incluida dentro del conjunto de box, se ha querido realizar una función totalmente independiente para la mesa de giro, al ser una máquina que puede llegar a ser muy compleja y tener parámetros muy flexibles y propicios al cambio dentro de su parametrización de velocidades lineales, angulares, rampas de aceleración y deceleración, etc. Por ello, se ha preferido separar toda su programación en una función individualizada para las mesas de giro. De todos modos, el rearme y modo de funcionamiento en manual o automático viene determinado en la función de su box, y se ejecuta solo desde allí, funcionando en el mismo modo que el resto del box y cayendo sistema en caso de que salte alguna seguridad, aunque sea una seguridad que afecta solo a una de las puertas del box y no a la mesa de giro.

Las ejecuciones realizadas en la mesa de giro se reducen a 2 posibles recorridos: girar la mesa de giro en sentido horario y girarla en sentido anti-horario. La distancia a recorrer es la misma en ambos casos, 180°, media vuelta. Para controlar estas maniobras se ha hecho en base a un sistema formado por 4 sensores inductivos colocados de forma estratégica en la mesa de giro de forma que, haciendo las correspondientes combinaciones entre ellos, se consigue iniciar y finalizar la maniobra, así como también realizar cambios de velocidad tanto en aceleración como deceleración. Los sensores utilizados son del tipo inductivo, pero podrían ser otro tipo de sensores como detectores con un catadióptrico frente a él o finales de carrera inclusive, las combinaciones son amplias.

De cara a la implantación de este desarrollo en un aparcamiento automatizado, se recomienda también hacer un posicionado por un método de encoders, dando 2 alternativas y no solo una al posicionado de la mesa de giro. Por consiguiente, si se integran encoders absoluto en el sistema se puede conocer el posicionamiento de la mesa en cada uno de sus pasos a lo largo de todo su recorrido y no solo en los puntos importantes como es el sistema desarrollado con 4 sensores, 2 de los cuales son de inicio y final de recorrido y los otros 2 de aceleración y deceleración.

4.6.2.3. FC9 – Maniobra SAM

En esta máquina, como ya se ha comentado, presenta 3 motores diferentes que accionan 3 mecanismos (traslación del SAM, extraer y recoger el carro y avance y retroceso del posicionador) y, además también un sistema de rodillos delanteros y traseros accionados a través de un sistema neumático. Todos estos accionamientos se programan sus maniobras y condiciones de maniobra en esta función del programa, así como también se programan aquí las comprobaciones de posicionamiento, estados defectos y alarmas de todos ellos.

En la [Figura 4.28](#) se puede observar parte del desarrollo de la función de maniobra del SAM, en concreto, el desarrollo de ejecución del proceso de maniobra de avanzar en traslación. Cada una de las diferentes máquinas tiene desarrolladas todas sus posibles maniobras siguiendo la misma filosofía de las máquinas anteriores adaptada a esta máquina.

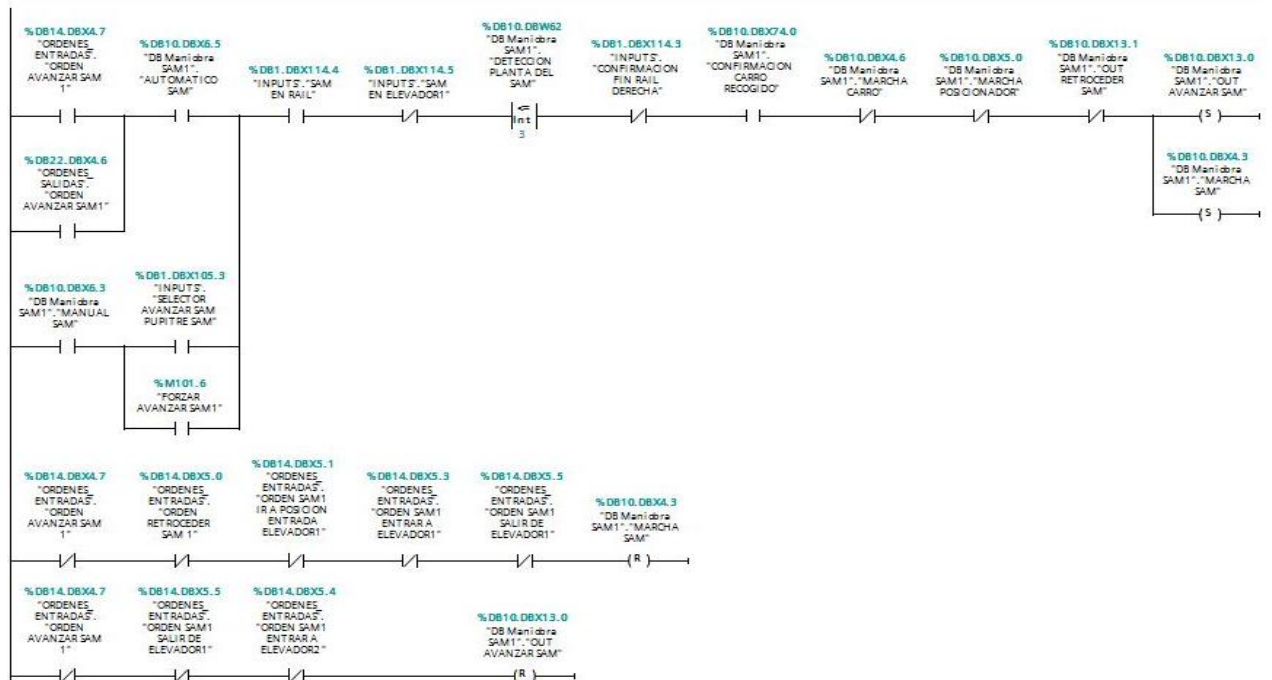


Figura 4.28. Movimiento avanzar SAM, movimiento traslación plataforma.

Como se puede observar, una sola función de maniobra que afecta a una sola máquina de la instalación tiene una extensa programación tras ella para conseguir que la instalación pueda ejecutarse y moverse, ya sea en automático o en manual desde el pupitre de mandos que se acostumbra a situar en una plataforma de mantenimiento adyacente a la máquina en cuestión.

4.6.2.4. FC6 – Maniobra Elevador

En esta maniobra se realizan las ejecuciones y combinaciones lógicas para la movimentación del elevador, que se trata de un movimiento lineal en el eje vertical. Para controlar el posicionamiento del elevador a lo largo de su recorrido se utilizan sensores de final de carrera en cada una de las posiciones de parada, es decir, en cada planta del aparcamiento. Además, la combinación de los FC junto con un telemetro en cada elevador permite tener un control del posicionamiento del elevador en tiempo real a lo largo de todo el recorrido que presenta.

En esta misma función se realizan tanto las maniobras del Elevador 1 (extremo izquierdo de la electrovía y habilitado para entradas) como las del Elevador 2 (extremo derecho de la electrovía y habilitado para salidas). Del mismo modo que ocurre con los boxes, cada elevador tiene un bloque de datos individual donde se guardan todas sus variables individuales de ese elevador y con una dirección física diferente. Por tanto, las ejecuciones serán idénticas para cada elevador (demostrando la importancia que se recalcó de hacer un diseño modular, genérico y escalable a cualquier dimensionamiento propuesto).

4.6.2.5. FC5 – Posiciones en celdas

En esta función no se desarrolla ninguna maniobra de máquinas, su utilización dentro del sistema automatizado está en que contiene la información relacionado con la posición en horizontal y vertical de cada una de las celdas del aparcamiento, así como también de los elevadores y boxes. El motivo de realizarlo en una función y no en un bloque de organización de inicio (que solo se ejecuta cuando el autómata pasa de *Reset* a *Run*) está en poder modificar en tiempo real la asignación de posición de las celdas sin necesidad de parar todo el sistema y tener que reiniciar toda la instalación al completo, que podría llevar algunos minutos de demora.

4.6.2.6. FC11 – Ocupación en nichos

En esta función tampoco se desarrolla ninguna maniobra de máquinas y su utilización está en tener conocimiento de la disponibilidad de cada una de las celdas de la instalación de aparcamiento. Del mismo modo que en la FC5 de la posición de las celdas, el motivo de realizarse en una función está en poder modificar su estado en tiempo real mientras la instalación sigue en funcionamiento sin tener que reiniciarse el sistema de nuevo.

4.6.3. Secuencias

En estas funciones se desarrolla el orden en que se tienen que ejecutar los diferentes procesos y maniobras de manera que se pueda llevar a cabo un ciclo de entrada o salida completo al aparcamiento. En las secuencias, por lo tanto, se realizan llamadas a diferentes segmentos programados en las funciones de

maniobra para ejecutar los movimientos en el orden correcto, tanto para un procedimiento de entrada como uno de salida y siguiendo los graficets elaborados y que se tratan en el [Apartado 4.6.1](#). De esta manera, se ejecutan los procesos y las maniobras de diferentes máquinas, siendo posible ejecutar diferentes maniobras de movimiento simultáneas, como puede ser girar la mesa de giro a la vez que se abre la puerta automática y al mismo tiempo también estar moviendo el SAM hacia el punto de recogida del vehículo en el box.

4.7. Desarrollo Sistema SCADA

Haciendo referencia al desarrollo teórico del [Apartado 1.4.6.1](#), se desarrolla un sistema de monitorización y control de supervisión propio para este sistema de aparcamiento con la herramienta de Siemens WinCC Basic. De esta manera, se muestra al usuario de una manera visual la posición de los elementos principales de cada una de las máquinas de la instalación. Además, también se ha programado un layout conjunto de toda la instalación donde se muestra en qué punto de la instalación se encuentra cada una de las máquinas y si tiene o no coche dentro de ella (ver [Figura 4.29](#)). Todas estas visualizaciones, siguiendo los conceptos teóricos de un sistema SCADA, se muestran en tiempo real.



[Figura 4.29](#). Layout SCADA aparcamiento diseñado.

Finalmente, también se ha realizado una pantalla asociada a cada una de las máquinas donde el usuario puede supervisar, pero también controlar y modificar parámetros importantes de funcionamiento de las máquinas, siendo pantallas táctiles las que forman el sistema SCADA. Ver [Figura 4.30](#) y [Figura 4.31](#).

El conjunto de HMIs que se ha desarrollado da lugar al sistema SCADA del aparcamiento automatizado realizado, de forma que todas las pantallas HMI están perfectamente integradas y actúan de acuerdo a la lógica programada en la parte de programación del autómat. De hecho, se ha generado alguna función en el autómat para crear algunas variables que son un conjunto de condiciones generadas desde programa para activar alguna señal en el sistema SCADA.

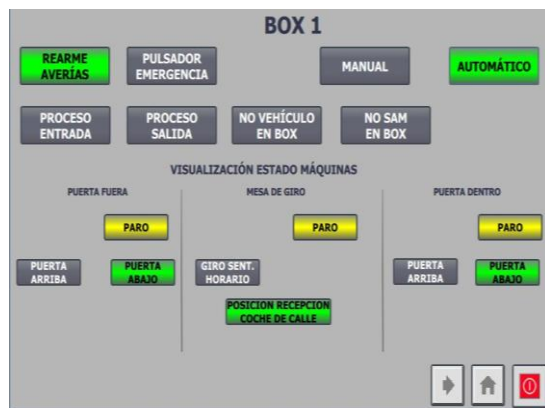


Figura 4.30. Panel Operador BOX 1.



Figura 4.31. Panel Operador SAM.

En cuanto a los parámetros que activan las secuencias de los procesos de entrada y salida de vehículos al aparcamiento, también se ha generado una HMI para poder visualizar e operar sobre el sistema. Ver [Figura 4.32](#).



Figura 4.32. SCADA secuencias entradas y salidas.

4.8. Cálculo del ciclograma del aparcamiento

En esta sección se realiza el cálculo del tiempo de ciclo de cada proceso de los que tienen lugar en la operatividad normal del aparcamiento, siempre considerando el modelo de aparcamiento simplificado del [Apartado 2.4.3](#). El cálculo del tiempo de ciclo o ciclograma de cada uno de los procesos se relaciona con el tiempo de ciclo individual de cada máquina del aparcamiento. Por ello, se realiza el cálculo del tiempo de ciclo individual de cada máquina y el tiempo de ciclo total será el sumatorio de todos ellos. Como resultado final del ciclograma se obtiene el tiempo global que dura tanto el proceso de entrada como el de salida de un vehículo en su estacionamiento.

Para obtener el cálculo del tiempo de ciclo de la maniobra de una máquina se requiere saber su velocidad de operación, que está directamente relacionada con su *performance*, es decir, con las características del motor que lleva. Sin embargo, la forma de proceder en la práctica no sigue este orden, lo más lógico y lo que se realiza en cualquier proyecto de ingeniería es imponer unas velocidades de trabajo típicas a cada máquina que cumpla con las exigencias solicitadas. Siguiendo estas indicaciones, se pasa a realizar el cálculo de los tiempos de ciclo de cada máquina con tal de obtener un valor de tiempo ciclo que se ajuste a los requisitos expuestos en las especificaciones técnicas del diseño. Para el cálculo del tiempo de ciclo se aplican las fórmulas de cinemática para movimientos rectilíneos y en el caso de la mesa de giro las correspondientes al movimiento circular. En ambos casos, movimiento rectilíneo y circular, se diferencian 3 etapas en cada ciclo de movimentación:

- Etapas 1 – Aceleración:

El punto de partida de esta etapa es el punto inicial en el que se encuentra la máquina en reposo. La máquina comienza el proceso de movimiento con un MRUA, donde parte con velocidad inicial nula y acaba la etapa de aceleración con la velocidad máxima de operación que se ha parametrizado para esta máquina. Las ecuaciones utilizadas para el cálculo del tiempo del ciclo de aceleración (t_{ca}) y el recorrido de aceleración (x_{ca}) serán las siguientes:

$$t_{ca} = \frac{(V_{M\hat{A}X} - V_{MIN})}{a} \quad (4.1)$$

$V_{M\hat{A}X} \equiv \text{Velocidad máxima} ; \quad V_{MIN} \equiv \text{Velocidad mínima}$

$$x_{ca} = V_{MIN} \cdot t_{ca} + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_{ca}^2 \quad (4.2)$$

- Etapas 2 – Ciclo continuo:

Se le denomina etapa de ciclo continuo al presentar una velocidad constante durante toda la etapa. Esta segunda etapa comienza una vez la máquina alcanza su velocidad máxima parametrizada y finaliza su etapa de aceleración. La máquina permanece en esta segunda etapa hasta el comienzo de la tercera etapa de deceleración. Para obtener el recorrido de ciclo continuo (x_{cc}) y su tiempo de ciclo (t_{cc}) se hace la

diferencia entre el recorrido total (x_T) de la maniobra de la máquina y la suma de los recorridos de aceleración y deceleración. Una vez se conoce el recorrido de esta segunda etapa y también su velocidad de operación constante, se puede obtener el tiempo del ciclo continuo.

$$x_{cc} = x_T - x_{ca} - x_{cd} \quad (4.3)$$

$$t_{cc} = \frac{x_{cc}}{V_{M\dot{A}X}} \quad (4.4)$$

$V_{M\dot{A}X} \equiv \text{Velocidad máxima}$

▪ **Etapas 3 – Deceleración:**

Por último, está la etapa de deceleración. Al llegar al punto de deceleración, típicamente con unos sensores para detectar haber llegado a este punto, la máquina comienza su deceleración. La máquina inicia la etapa con una velocidad máxima de operación y lo finaliza cuando llega al reposo, de forma que presenta un MRUA. Las ecuaciones utilizadas para el cálculo del tiempo del ciclo de aceleración (t_{ca}) y el recorrido de aceleración (x_{ca}) serán las siguientes:

$$t_{cd} = \frac{(V_{MIN} - V_{M\dot{A}X})}{d} \quad (4.5)$$

$$V_{M\dot{A}X} \equiv \text{Velocidad máxima} ; V_{MIN} \equiv \text{Velocidad mínima}$$

$$x_{cd} = V_{M\dot{A}X} \cdot t_{cd} + \frac{1}{2} \cdot d \cdot t_{cd}^2 \quad (4.6)$$

▪ **Sumatorio etapas:**

Finalmente, si se suman los tiempos de ciclo de cada etapa se obtiene el tiempo total del ciclo (t_T):

$$t_T = t_{ca} + t_{cc} + t_{cd} \quad (4.7)$$

En base al procedimiento que se ha comentado para el cálculo de los tiempos de ciclo de cada etapa de la maniobra, se realiza el ciclograma de cada máquina. En el [Anexo 2](#) se podrá consultar el proceso completo del cálculo realizado.

4.8.1. Ciclograma global de los procesos

En esta sección se muestran los resultados del tiempo de ciclo global para cada uno de los procesos principales del aparcamiento, almacenamiento y extracción de vehículos. Para ello, se utilizan los resultados de las maniobras individuales de cada máquina obtenidas en el [Anexo 2](#) y las secuencias de los procesos de entrada y salidas desarrolladas tanto a nivel de software, en TIA, como teóricamente en los graficets del [Apartado 4.6.1](#).

Se ha realizado un cálculo del tiempo que dura cada uno de los ciclos de entrada y salida al aparcamiento de un vehículo, tal y como se puede observar en la [Tabla 4.3](#) y [Tabla 4.4](#), según el tiempo de maniobra individual de cada máquina que se ha calculado en la sección anterior y se refleja en la variable de tiempo de acción de la tabla. Además, algunas maniobras se realizan de forma simultánea y, por ello, el tiempo invertido sería el tiempo de la maniobra que requiere mayor tiempo del proceso simultáneo, es decir, el tiempo acumulado del proceso de la tabla a la que se hace referencia.

Los tiempos de ciclo calculados en la [Tabla 4.3](#) y [Tabla 4.4](#) hacen referencia a la peor de las situaciones que se puede contemplar, que es tener que almacenar el vehículo en la última de las plantas y en la celda más alejada de los accesos. Estas condiciones se darán cuando el aparcamiento esté al límite de su capacidad, en el resto de casos se almacenarán los vehículos en celdas más próximas a la entrada, de forma que se reduzca el tiempo del ciclo.

Por último, es importante remarcar que pueden solaparse en el mismo intervalo temporal diferentes procesos de entrada o de salida, sin ser necesario que acabe un proceso de entrada o salida al completo para que dé comienzo otro. En el momento que una máquina queda liberada al haber realizado ya su intervención en el ciclo puede comenzar otra intervención en otro ciclo de entrada o salida.

4.8.1.1. Ciclograma proceso de entrada

En la [Tabla 4.3](#) se muestran los resultados de los tiempos de ciclo de la secuencia del proceso de entrada completo al aparcamiento diseñado, considerando el peor de los casos comentado. En caso de almacenar el vehículo en celdas próximas a la entrada, el tiempo total de la secuencia podría reducirse alrededor de 1,5 o 2 minutos aproximadamente.

[Tabla 4.3.](#) Ciclograma Secuencia del proceso de entrada.

Núm. proceso	Acción	Máquina	Tiempo acción [s]	Tiempo acumulado proceso [s]	Tiempo acumulado [s]
1	Extraer ticket y leer tarjeta	TKS	2	2	2
2	Abrir puerta fuera	PA FUERA	8	8	10
3	ELV a BOX	ELV	21	120	130
	SAM a BOX	SAM	32		
	Entra coche BOX	VEHÍCULO	120		
4	Cerrar PA fuera	PA FUERA	8	26	156
	Abrir PA dentro	PA DENTRO	8		

	Girar en sentido horario MG	MG	26		
5	Sacar carro SAM	CARRO	25	25	181
6	Sacar rodillos delante	RODILLOS	2	2	183
7	Retroceder posicionador	POSICIONADOR	14	14	197
8	Sacar rodillos detrás	RODILLOS	2	2	199
9	Recoger carro SAN	CARRO	25	25	224
10	SAM a ELV	SAM	8	8	232
11	SAM entrar ELV	SAM	3	3	235
12	Subir ELV	ELV	21	26	261
	Cerrar PA dentro	PA DENTRO	8		
	Girar en sentido anti-horario MG	MG	26		
13	SAM salir ELV	SAM	3	3	264
14	SAM a celda	SAM	32	32	296
15	Sacar carro SAM	CARRO	25	25	321
16	Recoger todos los rodillos	RODILLOS	2	2	323
17	Recoger carro SAM	CARRO	25	25	348
TIEMPO DE CICLO TOTAL DEL PROCESO DE ENTRADA [<i>s</i>] =					348.00
TIEMPO DE CICLO TOTAL DEL PROCESO DE ENTRADA [<i>min</i>] =					5.80
Se ha aplicado un factor de seguridad de un +5% a su resultado a todas las maniobras.					

4.8.1.2. Ciclograma proceso de salida

En la [Tabla 4.4](#) se muestran los resultados de los tiempos de ciclo de la secuencia del proceso de salida completo del aparcamiento diseñado, considerando el peor de los casos comentado. En caso de extraer el vehículo de celdas próximas a la entrada, el tiempo total de la secuencia podría reducirse alrededor de 1,5 o 2 minutos aproximadamente.

Tabla 4.4. Ciclograma Secuencia del proceso de salida.

Núm. Proceso	Acción	Máquina	Tiempo acción [s]	Tiempo acumulado proceso [s]	Tiempo acumulado [s]
1	Pagar importe	TKS	120	120	120
2	SAM a celda	SAM	32	32	152
	ELV a planta celda	ELV	27		
3		CARRO	25	25	177
4	Sacar rodillos delante	RODILLOS	2	2	179
5	Retroceder posicionador	POSICIONADOR	14	14	193
6	Sacar rodillos detrás	RODILLOS	2	2	195
7	Recoger carro SAM	CARRO	25	25	220
8	SAM a ELV	SAM	32	32	252
9	SAM entrar ELV	SAM	3	3	255
10	ELV a box	ELV	27	27	282
	Girar en sentido horario MG	MG	26		
11	SAM salir ELV	SAM	3	3	285
12	SAM a BOX	SAM	8	8	293
	Abrir PA dentro	PA DENTRO	8		
13	Sacar carro SAM	CARRO	25	25	318
14	Recoger rodillos	RODILLOS	2	2	320
15	Recoger carro SAM	CARRO	25	25	345
16	Cerrar PA dentro	PA DENTRO	8	8	353
17	Abrir PA fuera	PA FUERA	8	8	361
TIEMPO DE CICLO TOTAL DEL PROCESO DE SALIDA [s] =					361
TIEMPO DE CICLO TOTAL DEL PROCESO DE SALIDA [min] =					6.02
Se ha aplicado un factor de seguridad de un +5% a su resultado a todas las maniobras.					

4.9. Análisis de resultados

Una vez finalizado el desarrollo, se procede a hacer una síntesis sobre los objetivos marcados inicialmente y los resultados que se han obtenido al final del proyecto.

- Investigar sobre un sector muy amplio como es la automatización industrial.

Resultados: Se ha llevado a cabo una búsqueda amplia sobre el sector de la automatización industrial y sobre los procesos secuenciales en los que se aplica a nivel industrial.

- Realizar una previsión de la demanda de aparcamiento que puede tener un aeropuerto real.

Resultados: Se han realizado diferentes previsiones econométricas y se han podido comparar con los datos históricos y reales que se tienen, de forma que se ha llegado a unos resultados de demanda de aparcamiento para los próximos años en el Aeropuerto de Ibiza. En función de la demanda de tráfico aéreo del aeropuerto se ha dimensionamiento la necesidad de aparcamiento del aeropuerto, según los métodos de los que se dispone en la actualidad, según la FAA y AENA.

- Realizar una propuesta de dimensionamiento tipo que sea simplificado, con el objetivo de desarrollar un sistema automatizado y secuencial con un autómata lógico programable, con aplicación directa a nivel industrial.

Resultados: Se ha desarrollado un sistema automatizado para un aparcamiento propuesto y con un PLC Siemens de la serie S7-1500, con campo de aplicación directa a nivel industrial y en aparcamientos automatizados como el desarrollado. Además, también se ha desarrollado un sistema SCADA asociado al sistema de automatización del aparcamiento, de forma que se pueda supervisar y controlar los procesos en tiempo real de la instalación. Ver [Figura 4.33](#).

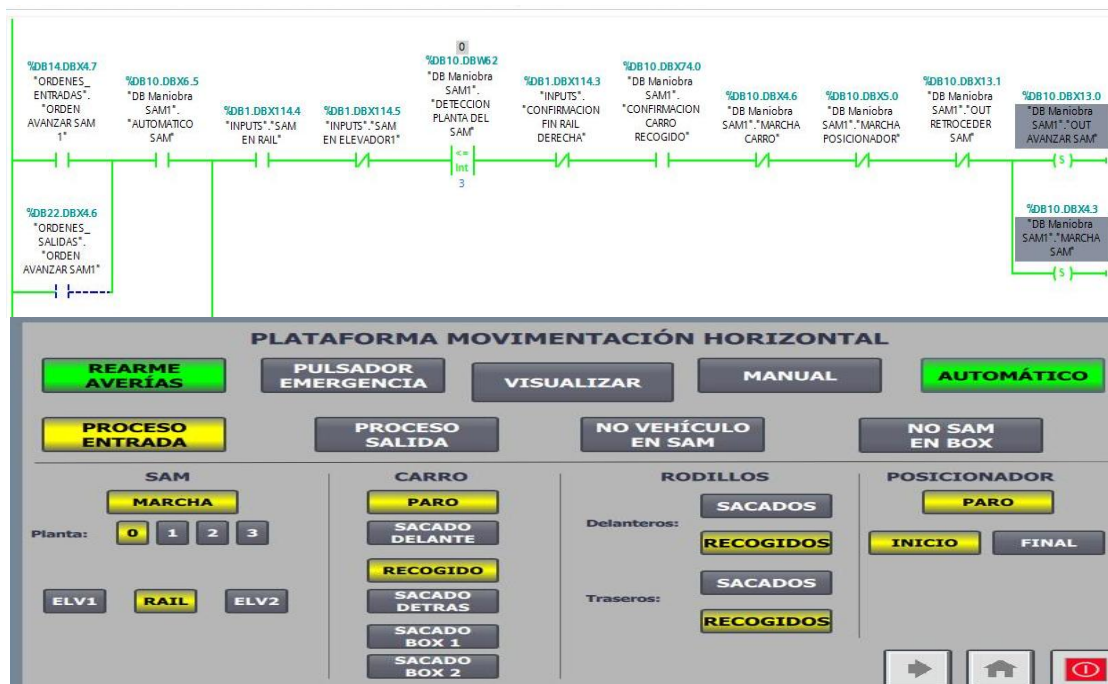


Figura 4.33. Simulación tiempo real avanzar SAM. PLC+SCADA.

El sistema automatizado, además también es capaz de tener un control de la ocupación de todas las celdas del aparcamiento, para poder realizar correctamente la asignación de celda para almacenar y recoger vehículos, tal y como se muestra en la [Figura 4.34](#).

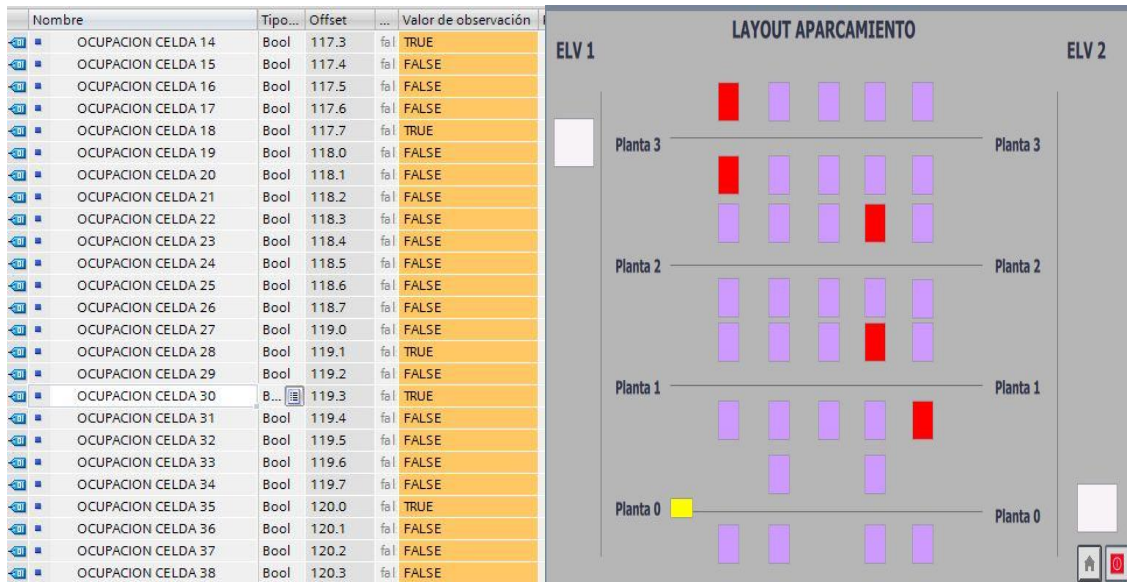


Figura 4.34. Ocupación celdas del aparcamiento en tiempo real. PLC+SCADA.

El sistema es capaz de detectar en tiempo real los valores de las entradas conectadas al autómat, procesarlas y actuar en consecuencia de ello y mostrando estado de los procesos en el sistema SCADA, tal y como se muestra en la [Figura 4.35](#).

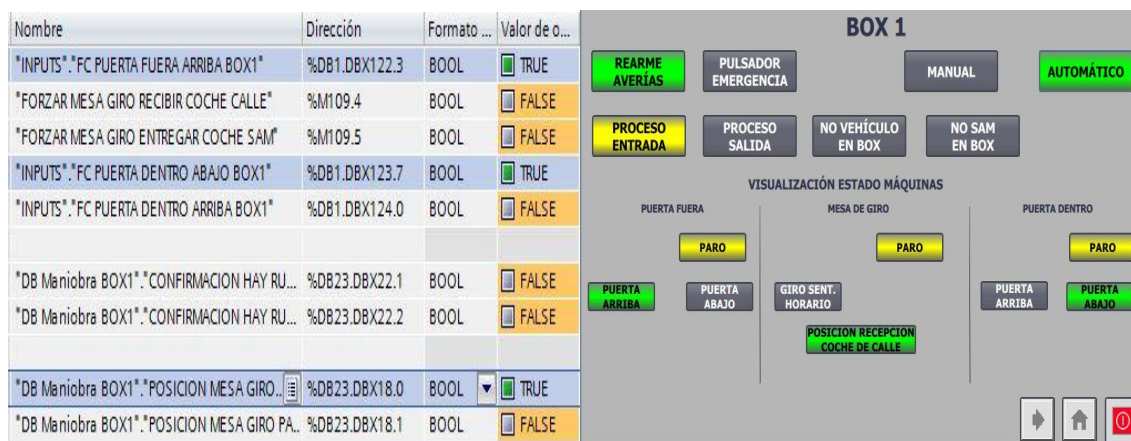


Figura 4.35. Detección tiempo real inputs sensórica. PLC+SCADA.

4.10.Trabajos futuros

El proyecto fin de grado realizado no se trata de un proyecto finalizado, se trata de una propuesta de desarrollo que se ha iniciado y que tiene una previsión de trabajos futuros en los próximos años muy extensa y atractiva a nivel profesional, con gran potencial y con una visión de negocio clara alrededor de la ordenación del tráfico de vehículos en zonas con afluencia muy elevada como núcleos urbanos y accesos de un aeropuerto.

El objetivo de este proyecto ha sido el desarrollo de la programación, la lógica genérica de los procesos de movimentación de las diferentes maquinas que incluyen el diseño del sistema de automatización de aparcamientos propuesto, de forma que este trabajo pueda aplicarse a todas las aplicaciones de sistema de automatización que se propongan dentro de este sector y modelo. Una vez se ha desarrollado este sistema, se abre un nuevo marco de sistemas que se pueden asociar e integrar a éste, consiguiendo tener un sistema totalmente compacto e integral, propio de competir profesionalmente con empresas potentes en el sector que llevan ya años apostando fuerte en este sector.

En relación a lo comentado en los párrafos anteriores, se prevén una serie de propuestas de mejora que pueden integrarse y complementarse con el sistema desarrollado:

- Sistema de Gestión Automatizado – SGA:

Este sistema ya ha sido nombrado y se han desarrollado sus características principales durante el proyecto, siendo uno de los sistemas que se plantea integrar en esta instalación desde el primer momento y que posibilita la optimización avanzada de la distribución y utilización del espacio de almacenamiento disponible del aparcamiento, de forma que la capacidad se aumenta y se obtiene el máximo rendimiento de los recursos de la instalación.

- Desarrollo Interfaz web integrada al sistema de control del aparcamiento:

Se abre un nuevo concepto donde se realiza una interfaz entre el sistema desarrollado y la web, utilizando el protocolo internacional TCP/IP. Este desarrollo propuesto se complementa, también, con un nuevo término que está dando mucho de qué hablar en los últimos años y se refiere a la provisión de servicio de almacenamiento a través de internet, las conocidas plataformas de almacenamiento en la nube, donde toda la información del sistema tendrá su copia de seguridad cifrada y con acceso restringido en la nube.

- Control remoto del aparcamiento:

Gracias al concepto previo de la realización de una interfaz web del sistema y el almacenamiento de sus datos en la nube se puede permitir el control remoto de la instalación desde cualquier punto del mundo con acceso a Internet, utilizando el protocolo TCP/IP también.

- Aplicación de usuario para *Smartphones*:

Siguiendo con los puntos anteriores, se vuelve a utilizar el desarrollo de la interfaz web propuesta para poderla asociar a una aplicación móvil compatible con los sistemas operativos iOS y Android. De esta manera, el usuario podría acceder a través de un identificador asociado a su ticket de entrada al aparcamiento a la aplicación y, así, solicitar una hora de recogida de su vehículo. Esto resulta muy interesante y solventa quizás uno de los puntos de mejora como es el tiempo de ciclo de los procesos de entradas y salidas. El tiempo de ciclo se mantiene, pero el usuario todavía no ha llegado al aparcamiento y cuando llegue puede ya tener su vehículo preparado en una celda de espera cercana a la salida.

Esta propuesta de mejora es una de las más atractivas de cara a la explotación, así como poder integrar esta aplicación con el servicio de alquiler de coche que se ha comentado durante la memoria como medida de sacar rendimiento y hacer viable la instalación de aparcamiento automatizado propuesta.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

Este proyecto nace por iniciativa propia, en base a una necesidad existente en la sociedad actual como es la optimización del espacio para en zonas de densidad de población elevada. La iniciativa surge, también, en base a la experiencia de una intervención realizada que consistió en remodelar un aparcamiento ya desarrollado y ponerlo de nuevo en funcionamiento, viendo los problemas que presentaba la automatización ya desarrollada y pensando en posibles soluciones al respecto que pueden dar lugar a un nuevo sistema de automatización de aparcamientos.

En base a las motivaciones comentadas y el apoyo de la empresa en esta propuesta de desarrollo de un producto integral de aparcamiento automatizado, aparece la propuesta de desarrollar el sistema de automatización del aparcamiento como proyecto final de grado, integrándolo así con las nociones básicas de programación, procesos secuenciales y electrónica previas.

Durante el periodo de realización del proyecto, se han adquirido los conocimientos necesarios de la automatización a nivel industrial haciendo posible llevar a la práctica estos conocimientos y desarrollar un prototipo de sistema automatizado de aparcamiento, siendo éste modular y escalable a cualquier campo y tamaño de aplicación. Además, también ha permitido adquirir conocimientos muy provechosos para la aplicación en el ámbito profesional de todo tipo de desarrollo de sistemas automatizados y secuenciales.

Gracias a este proyecto, se ha podido conocer un software de programación profesional tan utilizado como TIA, de la multinacional Siemens y que se utiliza en numerosas plantas industriales a nivel internacional. Este software era totalmente desconocido hasta que surgió la iniciativa de realizar este proyecto, aprendiendo nuevos lenguajes de programación como KOP y AWL que eran totalmente desconocidos hasta la fecha.

En cuanto a bases de datos, se ha aprendido a trabajar alternando módulos de entrada físicos con almacenamiento en base a DB, trabajando en tiempo real con todos los datos y utilizándolos tanto para visualización de procesos activos como para forzar comandos que den lugar a nuevos procesos y acciones.

En cuanto a los sistemas SCADA se refiere, es cierto que en alguna asignatura se ha explicado alguna aplicación a nivel teórico de este tipo de sistemas, pero en este proyecto se ha podido dar un paso hacia delante y llevar las ideas y conceptos teóricos a la práctica, ampliando todo el conocimiento teórico y pudiéndolo desarrollar e integrar en un sistema de automatización industrial como el desarrollado.

En definitiva, este proyecto ha potenciado el conocimiento sobre los procesos secuenciales y de automatización a nivel industrial, utilizando herramientas de primer nivel en la actualidad. Este proyecto ha permitido adquirir una experiencia a nivel profesional, permitiendo aplicar los conocimientos teóricos que se fomentan en la facultad con la práctica real que se encuentra en la empresa, trabajando en un sector directamente relacionado con la industria.

BIBLIOGRAFIA

- [1] “Aparcamiento Robotizado”, Europa Press, Madrid, 15/01/2011
<http://www.europapress.es/madrid/noticia-aparcamientos-robotizados-deberan-poder-evacuar-25-capacidad-hora-obtener-licencia-20110115120030.html>
Última consulta: 10/06/2016
- [2] “Descripción de los sistemas robotizados”, Park-in Robotizados.
<http://www.park-in.es/sistema/robotizados>
Última consulta: 10/06/2016
- [3] “El aparcamiento como parte necesaria de una actividad principal”, Asociación Española de Aparcamientos y Garajes, Nº40, Año 2013.
http://www.asesga.org/documentos/revista_aparcar/Aparcar_40.pdf
Última consulta: 10/06/2016
- [4] “Respuestas sobre variadores de frecuencia”, L. Araya Ingeniería, 09/02/2011.
<http://arayaingenieria.blogspot.com.es/2011/02/respuestas-sobre-variadores-de.html>
Última consulta: 10/06/2016
- [5] “Software Industrial”, Spica Software SL.
<http://spicasoftware.es/software-industrial/>
Última consulta: 10/07/2016
- [6] “Oferta de Parking”, Aeropuerto de Ibiza, AENA.
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-ibiza/oferta-parking.html>
Última consulta: 10/07/2016
- [7] Maldonado Díaz, Oscar, “Documentación y apuntes”, Asignatura de Planificación y Procesos Aeroportuarios (PPA), Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), 2015.
Última consulta: 10/07/2016
- [8] “Plan Director del Aeropuerto de Ibiza”, Ministerio de Fomento, Gobierno de España.
http://www.fomento.gob.es/mfom/lang_castellano/direcciones_generales/aviacion_civil/politicas_aeroportuarias/ita/planes_directores/planes_directores/pd_ibiza.htm
Última consulta: 10/07/2016
- [9] “Opinión sobre un Aparcamiento Automatizado”, 05/04/2016.
https://docs.google.com/forms/d/1WkX-v7_-w7Q-shBd3GzcXlwHU41BQDbuN1twTnOuCkM/viewform
Última consulta: 10/06/2016

- [10] “Control de un convertidor de corriente continua, Capítulo 6, Convertidores de continua a continua. Choppers.”, 17/05/2012.
http://www.potencia.uma.es/index.php?option=com_content&view=article&id=81:capitulo-6&catid=35:e-book
Última consulta: 24/06/2016
- [11] “Conducción eléctrica de seguridad”, Sistemas de electrificación y transmisión de datos para equipos móviles, VAHLE, Cat. N°4d/Sp, 2006.
http://www.vahle.de/fileadmin/_migrated/content_uploads/Cat_03a_es_Conduccion_multipolar_compacta_VKS_10.pdf
Última consulta: 24/06/2016
- [12] “Informes Anuales Estadísticas de tráfico aéreo”, AENA.
http://www.aena.es/csee/Satellite?Language=ES_ES&c=Page&cid=1113582476721&pagename=Estadisticas%2FEstadisticas&periodoInforme=Anual
Última consulta: 30/06/2016
- [13] “Indicadors de demanda turística – Illes Balears”, Govern de les Illes Balears.
<http://www.caib.es/sacmicrofront/contenido.do?mkey=M10072911244127834137&lang=ES&cont=22816>
Última consulta: 30/06/2016
- [14] “Estadísticas de economía”, Institut d’Estadística de les Illes Balears (IBESTAT).
<http://ibestat.caib.es/ibestat/estadistiques/economia>
Última consulta: 30/06/2016
- [15] González Viñas, Jose Luís, “Sistema de poleas y correas”, Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado (INTEF).
<http://almez.pntic.mec.es/jgonza86/Sistemas%20de%20poleas%20y%20correas.htm#compuesta>
Última consulta: 30/06/2016
- [16] “Servomotor-reductores cónicos K..CMP..”, Sew-Eurodrive.
https://www.sew-eurodrive.es/productos/motorreductores/servomotorreductores/servomotorreductores_conicos_kcmp/servomotorreductores_conicos_kcmp.html
Última consulta: 05/07/2016
- [17] “Advanced Controllers”, SIMATIC Industrial Automation Systems, Siemens.
<http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/advanced-controller/Pages/default.aspx>
Última consulta: 05/07/2016

- [18] “El ciclo de SCAN en un autómata”, Actualidad y recursos sobre automatización, infoPLC, 20/05/2014.
<http://www.infoplc.net/blogs-automatizacion/item/101930-ciclo-scan-automata-plc>
Última consulta: 05/07/2016
- [19] “Definición del PLC y Características”, Scribd.
<https://es.scribd.com/doc/50835535/Definicion-de-PLC-y-Caracteristicas>
Última consulta: 05/07/2016
- [20] “Introducción a HMI”, Área de Automatización y Control Industrial, Universidad Nacional de Quilmes.
<http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>
Última consulta: 05/07/2016
- [21] Romero Morales, Cristóbal, “Introducción a SCADA”, Interfaz Hombre Máquina, Universidad de Córdoba.
<http://www.uco.es/investiga/grupos/eatco/automatica/ihm/descargar/scada.pdf>
Última consulta: 11/07/2016
- [22] Núñez, Patricia, “La búsqueda de aparcamiento provoca el 30% de los atascos”, Departamento de Comunicación, International Business Machines (IBM), Madrid (España), 29/09/2011.
<http://www-03.ibm.com/press/es/es/pressrelease/35510.wss>
Última consulta: 11/07/2016
- [23] “Visión general Autómatas Programables”, Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Oviedo.
http://isa.uniovi.es/docencia/iea/teoria/plc_resumen.pdf
Última consulta: 11/07/2016

ANEXO 1 - ESTUDIO PREVISIÓN DE DEMANDA

En relación al estudio de previsión de demanda que se realiza en el [Apartado 2.2.3](#) de la memoria técnica, se muestra en este anexo el estudio completo que se ha realizado.

El primer paso consiste en obtener los valores de previsión de demanda de referencia que al final del estudio se rescataran para realizar la comparativa con los resultados obtenidos. Los valores de referencia se obtienen directamente del Plan Director del Aeropuerto de Ibiza. Este Plan director es algo antiguo (su aprobación fue efectiva el 03/01/2011, pero ya es válido para ver la tendencia que sigue su demanda de tráfico, según se observa en la [Tab. A1. 1](#). Los tipos de escenarios son clasificados en función de lo conservadora o agresiva que ha sido la previsión realizada, siendo el escenario bajo el más conservador y el escenario alto el más agresivo. La previsión realizada en su plan director fue realizada años atrás, sin tener datos reales de los años 2010 y 2015 y, por tanto, siendo previsiones los valores de pasajeros que se dan en estos años. Sin embargo, actualmente si se dispone de las cifras reales de demanda de tráfico que tuvo el aeropuerto en los años 2010 y 2015 y, gracias a esto, es posible realizar una comparación entre la previsión realizada y el comportamiento real obtenido.

[Tab. A1. 1](#). Pasajeros anuales Aeropuerto de Ibiza en Millones. [8]

AÑO	PAX ESCENARIO BAJO	PAX ESCENARIO MEDIO	PAX ESCENARIO ALTO
2010	4.31	4.58	4.98
2015	4.52	5.12	6.04
2020	4.73	5.67	7.09

Según AENA [12], la demanda de tráfico aéreo en los años 2010 y 2015 del Aeropuerto de Ibiza fue la siguiente:

- Año 2010 → 5.04 millones de pasajeros.
- Año 2015 → 6.48 millones de pasajeros.

La comparación realizada entre la previsión y las cifras reales obtenidas, hacen llegar a la conclusión de que, para este aeropuerto de estudio, la previsión que más se adecua a la realidad es una previsión más agresiva, optando por los escenarios más agresivos. Como se puede observar, los valores que se obtienen del escenario alto de la [Tab. A1. 1](#) son los que más próximos quedan a los valores reales recogidos por AENA para esos años.

En base a los datos estadísticos de referencia y los conceptos teóricos que se deben seguir, se ha realizado un estudio econométrico con 3 previsiones distintas y 2 escenarios (conservador y agresivo) para cada una de ellas. Para realizar este estudio, se toman las siguientes variables:

- Variable principal:

- 1) Pasajeros anuales Aeropuerto de Ibiza (Millones de pasajeros/año).

- Variables secundarias:

- 1) Turismo de la isla de Ibiza (Millones de turistas/año).
- 2) Población de la isla de Ibiza (Millones de habitantes/año).
- 3) PIB Comunidad Autónoma de las Islas Baleares (Miles de Millones de €/año).

Tab. A1. 2. Datos históricos previsión econométrica Aeropuerto de Ibiza [12, 13, 14]

AÑO	PASAJEROS (MPAX/AÑO)	TURISMO IBIZA (MPERS/AÑO)	POBLACIÓN IBIZA (MPERS/AÑO)	PIB ISLAS BALEARES (MM€/año)
2004	4.17	1.80	0.11	20.87
2005	4.16	1.76	0.11	22.53
2006	4.46	1.87	0.11	24.39
2007	4.77	2.21	0.12	26.05
2008	4.65	2.09	0.13	27.14
2009	4.57	1.78	0.13	25.98
2010	5.04	2.38	0.13	26.20
2011	5.64	2.33	0.13	26.03
2012	5.56	2.45	0.14	25.81
2013	5.73	2.73	0.14	25.84
2014	6.21	2.56	0.14	26.33
MPAX \equiv Millones de pasajeros.				
MPERS \equiv Millones de personas.				
MM€ \equiv Miles de millones de euros.				

En consideración de los datos de las variables de referencia de la Tab. A1. 2, se desarrolla el estudio econométrico de la previsión de demanda de tráfico aéreo en el Aeropuerto de Ibiza para cada una de las siguientes previsiones:

A1.1. Previsión 1 – PAX vs Turismo y Población

En esta previsión se utilizarán el turismo y la población, ambos de la isla de Ibiza, como variables secundarias de la previsión econométrica, siendo los pasajeros del aeropuerto de esta misma isla la variable principal. Los datos de referencia sobre los cuales se hace la previsión están comprendidos entre el 2004 y 2014. Por tanto, después de realizar la previsión econométrica se obtendrán como resultado los pasajeros que se prevé tendrá el Aeropuerto de Ibiza entre los años de 2015 y 2025. Cabe destacar que, a pesar de haber ya finalizado el ejercicio

del 2015, no se han podido obtener las cifras de algunas de las variables secundarias del estudio para el año 2015 y, por este motivo, se ha cerrado la tabla de datos reales en el año 2014 y a partir del 2015 se ha realizado como previsión.

Dentro de esta misma previsión se han definido 2 escenarios posibles: el escenario 1 es el conservador y el escenario 2 es el optimista o más agresivo. Cada uno de estos escenarios tendrá un factor de crecimiento que será el que se aplique para la obtención de las cifras de las variables secundarias del estudio para los próximos años (2015-2025). Para obtener el valor de estos factores de crecimiento, se tiene en consideración el crecimiento interanual que han experimentado las variables secundarias de la previsión. El factor de crecimiento que se utiliza para el escenario conservador es la media de los crecimientos interanuales de las variables secundarias, mientras que el utilizado para el escenario optimista es el máximo valor de crecimiento interanual entre los años 2004 y 2014, excepto en el turismo que hay un pico muy pronunciado de turismo entre el 2009 y 2010 y por ello se decide utilizar el pico del PIB, siendo más conservadores. De esta manera, los factores de crecimiento que se utilizan para obtener las cifras de turismo, PIB y población para los próximos 10 años en Ibiza son los que aparecen en la [Tab. A1. 3](#).

[Tab. A1. 3](#). Factor de crecimiento variables secundarias, Previsión 1.

ESCENARIO	TURISMO IBIZA	POBLACIÓN IBIZA
1	0.04	0.03
2	0.06	0.06

Si se aplica el factor de crecimiento indicado a la variable secundaria y las Ecuaciones [\(0.1\)](#) y [\(0.2\)](#) se obtienen las cifras de turismo y población de Ibiza para los próximos 10 años, tal y como se detalla en la [Tab. A1. 4](#).

$$TUR_{x+1} = (1 + FC_{TUR}) \cdot (TUR_x) \quad (0.1)$$

$TUR \equiv Turismo$; $FC \equiv Factor Crecimiento$; $x \equiv Año$

$$POB_{x+1} = (1 + FC_{POB}) \cdot (POB_x) \quad (0.2)$$

$POB \equiv Población$; $FC \equiv Factor Crecimiento$; $x \equiv Año$

Tab. A1. 4. Previsión Turismo y Población Ibiza 2015-2025.

AÑO	TURISMO IBIZA (MPERS/AÑO)	POBLACIÓN IBIZA (MPERS/AÑO)
2015	2.67	26.97
2016	2.79	27.62
2017	2.91	28.29
2018	3.04	28.98
2019	3.17	29.69
2020	3.31	30.41
2021	3.46	31.15
2022	3.61	31.90
2023	3.77	32.68
2024	3.93	33.47
2025	4.11	34.28

De esta manera, se realiza una regresión múltiple entre la variable principal y las secundarias de esta previsión para los años que se tienen los datos reales (2004-2014) y se obtienen, en la Tab. A1. 5, los coeficientes de la regresión:

Tab. A1. 5. Coeficientes Regresión para Previsión 1, 2004-2014.

Coeficiente correlación múltiple	0.943528717
Coeficiente determinación R^2	0.89024644
R^2 ajustado	0.86280805
Error típico	0.255487138
Intercepción	-0.602685119
Variable x_1	1.046410696
Variable x_2	26.29122568

Con los parámetros de la Tab. A1. 5 y la Ecuación (0.3) se obtienen las cifras de la previsión de demanda de tráfico para los próximos años en el Aeropuerto de Ibiza. Los resultados finales de esta previsión se pueden consultar en la Tab. A1. 6 y Tab. A1. 7.

$$PAX_x = 1.046 \cdot TUR_x + 26.291 \cdot POB_x - 0.603 \quad (0.3)$$

$PAX \equiv Pasajeros$; $TUR \equiv Turismo$; $POB \equiv Población$; $x \equiv Año$

Tab. A1. 6. Resultados Previsión Econométrica 1, Escenario 1.

AÑO	PASAJEROS (MPAX/AÑO)	TURISMO IBIZA (MPERS/AÑO)	POBLACIÓN IBIZA (MPERS/AÑO)
2004	4.17	1.80	0.11
2005	4.16	1.76	0.11
2006	4.46	1.87	0.11
2007	4.77	2.21	0.12
2008	4.65	2.09	0.13
2009	4.57	1.78	0.13
2010	5.04	2.38	0.13
2011	5.64	2.33	0.13
2012	5.56	2.45	0.14
2013	5.73	2.73	0.14
2014	6.21	2.56	0.14
2015	5.98	2.67	0.14
2016	6.21	2.79	0.15
2017	6.45	2.91	0.15
2018	6.70	3.04	0.16
2019	6.96	3.17	0.16
2020	7.22	3.31	0.17
2021	7.50	3.46	0.17
2022	7.79	3.61	0.18
2023	8.08	3.77	0.18
2024	8.39	3.93	0.19
2025	8.71	4.11	0.19

Tab. A1. 7. Resultados Previsión Econométrica 1, Escenario 2.

AÑO	PASAJEROS (MPAX/AÑO)	TURISMO IBIZA (MPERS/AÑO)	POBLACIÓN IBIZA (MPERS/AÑO)
2004	4.17	1.80	0.11
2005	4.16	1.76	0.11
2006	4.46	1.87	0.11
2007	4.77	2.21	0.12
2008	4.65	2.09	0.13
2009	4.57	1.78	0.13
2010	5.04	2.38	0.13
2011	5.64	2.33	0.13
2012	5.56	2.45	0.14
2013	5.73	2.73	0.14
2014	6.21	2.56	0.14
2015	6.16	2.72	0.15
2016	6.58	2.89	0.16
2017	7.03	3.07	0.17
2018	7.51	3.26	0.18
2019	8.01	3.46	0.19
2020	8.55	3.68	0.20
2021	9.12	3.91	0.21
2022	9.73	4.15	0.23
2023	10.38	4.41	0.24
2024	11.06	4.69	0.26
2025	11.79	4.98	0.27

A1.2. Previsión 2 – PAX vs PIB y Población

Siguiendo los mismos pasos que se han seguido para el cálculo de la previsión 1, se realiza el estudio de la previsión 2 donde el cambio está en las variables secundarias que se utilizan en el estudio. En este caso, las variables secundarias que se utilizan son el PIB de las Islas Baleares y la población de Ibiza.

De este modo y siguiendo el mismo procedimiento, se muestra en la [Tab. A1. 8](#) y [Tab. A1. 9](#) los resultados finales de la previsión de demanda de tráfico aéreo para los próximos años en el Aeropuerto de Ibiza.

Tab. A1. 8. Resultados Previsión Econométrica 2, Escenario 1.

AÑO	PASAJEROS (MPAX/AÑO)	PIB ISLAS BALEARES (MME€/AÑO)	POBLACIÓN IBIZA (MPERS/AÑO)
2004	4.17	20.87	0.94
2005	4.16	22.53	0.97
2006	4.46	24.39	1.01
2007	4.77	26.05	1.04
2008	4.65	27.14	1.07
2009	4.57	25.98	1.08
2010	5.04	26.20	1.09
2011	5.64	26.03	1.10
2012	5.56	25.81	1.11
2013	5.73	25.84	1.12
2014	6.21	26.33	1.12
2015	5.94	26.97	1.15
2016	6.11	27.62	1.17
2017	6.28	28.29	1.19
2018	6.46	28.98	1.21
2019	6.64	29.69	1.23
2020	6.82	30.41	1.25
2021	7.00	31.15	1.28
2022	7.18	31.90	1.30
2023	7.37	32.68	1.32
2024	7.56	33.47	1.35
2025	7.75	34.28	1.37

Tab. A1. 9. Resultados Previsión Econométrica 2, Escenario 2.

AÑO	PASAJEROS (MPAX/AÑO)	PIB ISLAS BALEARES (MME€/AÑO)	POBLACIÓN IBIZA (MPERS/AÑO)
2004	4.17	20.87	0.94
2005	4.16	22.53	0.97
2006	4.46	24.39	1.01
2007	4.77	26.05	1.04
2008	4.65	27.14	1.07
2009	4.57	25.98	1.08
2010	5.04	26.20	1.09
2011	5.64	26.03	1.10
2012	5.56	25.81	1.11
2013	5.73	25.84	1.12
2014	6.21	26.33	1.12
2015	5.90	28.50	1.17
2016	6.02	30.84	1.21
2017	6.12	33.39	1.26
2018	6.19	36.14	1.30
2019	6.23	39.11	1.35
2020	6.24	42.33	1.40
2021	6.22	45.82	1.46
2022	6.15	49.59	1.51
2023	6.04	53.68	1.57
2024	5.89	58.10	1.63
2025	5.67	62.88	1.69

A1.3. Previsión 3 – PAX vs Turismo y PIB

Siguiendo los mismos pasos que se han seguido para el cálculo de la previsión 1 y 2, se realiza el estudio de la previsión 3 donde el cambio está en las variables secundarias que se utilizan en el estudio. En este caso, las variables secundarias que se utilizan son el turismo de Ibiza y el PIB de las Islas Baleares.

De este modo y siguiendo el mismo procedimiento, se muestra en la [Tab. A1. 10](#) y [Tab. A1. 11](#) los resultados finales de la previsión de demanda de tráfico aéreo para los próximos años en el Aeropuerto de Ibiza.

Tab. A1. 10. Resultados Previsión Econométrica 3, Escenario 1.

AÑO	PASAJEROS (MPAX/AÑO)	TURISMO IBIZA (MPERS/AÑO)	PIB ISLAS BALEARES (MME€/AÑO)
2004	4.17	1.80	20.87
2005	4.16	1.76	22.53
2006	4.46	1.87	24.39
2007	4.77	2.21	26.05
2008	4.65	2.09	27.14
2009	4.57	1.78	25.98
2010	5.04	2.38	26.20
2011	5.64	2.33	26.03
2012	5.56	2.45	25.81
2013	5.73	2.73	25.84
2014	6.21	2.56	26.33
2015	5.90	2.67	26.97
2016	6.12	2.79	27.62
2017	6.36	2.91	28.29
2018	6.60	3.04	28.98
2019	6.85	3.17	29.69
2020	7.12	3.31	30.41
2021	7.39	3.46	31.15
2022	7.68	3.61	31.90
2023	7.98	3.77	32.68
2024	8.29	3.93	33.47
2025	8.62	4.11	34.28

Tab. A1. 11. Resultados Previsión Econométrica 3, Escenario 2.

AÑO	PASAJEROS (MPAX/AÑO)	TURISMO IBIZA (MPERS/AÑO)	PIB ISLAS BALEARES (MME€/AÑO)
2004	4.17	1.80	20.87
2005	4.16	1.76	22.53
2006	4.46	1.87	24.39
2007	4.77	2.21	26.05
2008	4.65	2.09	27.14
2009	4.57	1.78	25.98
2010	5.04	2.38	26.20
2011	5.64	2.33	26.03
2012	5.56	2.45	25.81
2013	5.73	2.73	25.84
2014	6.21	2.56	26.33
2015	6.12	2.77	28.50
2016	6.59	2.99	30.84
2017	7.09	3.24	33.39
2018	7.64	3.51	36.14
2019	8.24	3.80	39.11
2020	8.88	4.11	42.33
2021	9.58	4.45	45.82
2022	10.33	4.82	49.59
2023	11.15	5.21	53.68
2024	12.03	5.64	58.10
2025	12.99	6.11	62.88

A1.4. Comparativa con Plan Director Aeropuerto

Una vez se han realizado las 3 previsiones con 2 escenarios en cada una de ellas, se hace una comparación entre ellas junto con la previsión que más se acerca a la realidad del Plan Director del Aeropuerto de Ibiza, tal y como se muestra en la Fig. A1. 1.

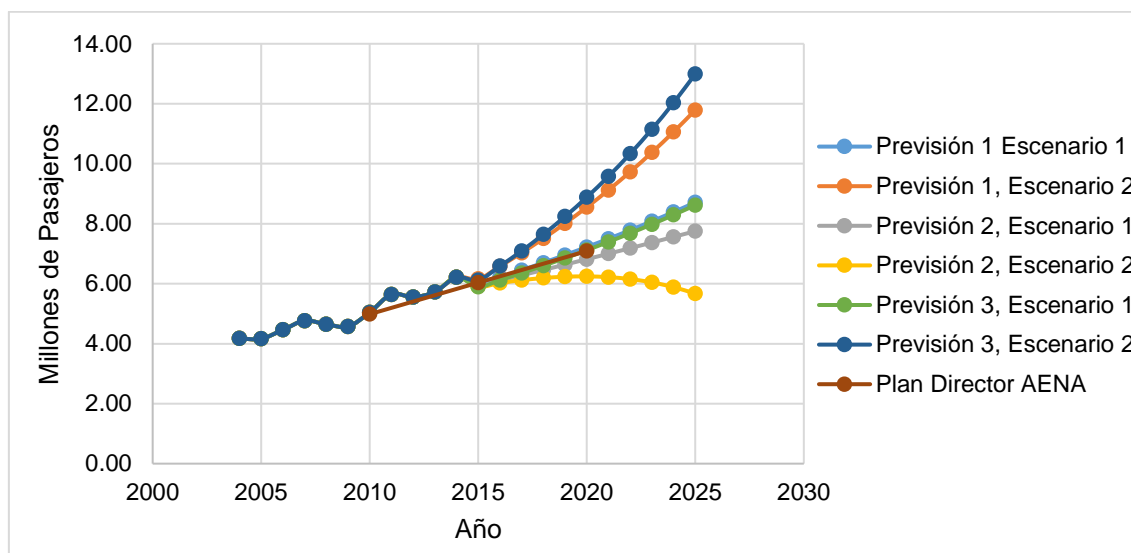


Fig. A1. 1. Previsión tráfico aéreo del Aeropuerto de Ibiza.

Como se observa en la gráfica de dispersión anterior, hay algunas de las previsiones que tienen un comportamiento muy similar al que presenta la previsión del Plan Director del Aeropuerto de Ibiza. Otros de los parámetros importantes para acabar de seleccionar unas de las previsiones econométricas realizadas son las variables secundarias utilizadas, cuáles de ellas son las más significativas e influyentes en la economía y actividad de la isla de Ibiza. El turismo y el PIB son las variables más influyentes en la actividad y economía de la isla, hecho por el cual se acaba seleccionando la Previsión 3 – Escenario 1 como la previsión más adecuada para la previsión del tráfico aéreo de los próximos años en el Aeropuerto de Ibiza.

A1.5. Cálculo Pasajeros Hora Punta – PHP

Una vez se tienen las cifras de los pasajeros anuales de los próximos 10 años, según la previsión econométrica realizada, se puede también obtener el valor de PHP de estos años, que es de vital importancia para cualquier dimensionamiento de infraestructura para el aeropuerto. De esta forma, será de vital importancia también el dato de PHP para el dimensionamiento del aparcamiento automatizado del Aeropuerto de Ibiza.

Para calcular el PHP se aplicarán las correlaciones marcadas por AENA [7], que es el organismo público español del que cuelgan la gran mayoría de aeropuertos

españoles y también el Aeropuerto de Ibiza que se estudia en este proyecto. AENA marca la siguiente ecuación a seguir:

$$Y = 105.62 \cdot PT^{-0.4723}$$

$Y \equiv \% \text{ de PHP sobre } PT$; $PT \equiv \text{PAX totales anuales (PAX/año)}$

(0.4)

$$PHP = Y \cdot (PT/100)$$

(0.5)

De esta forma, el PHP será diferente para cada año puesto que se tendrá una cifra de pasajeros totales cada año. Por consiguiente, si se aplican los valores de pasajeros totales anuales obtenidos en la Previsión 3 – Escenario 1 que se encuentran en la Tab. A1. 10 se puede obtener el PHP para cada año. A continuación, en la Tab. A1. 12 se muestran los resultados obtenidos de PHP para los próximos años de previsión, aplicando la Ecuaciones (0.4) y (0.5).

Tab. A1. 12. PHP Aeropuerto de Ibiza 2004-2025.

AÑO	PT (PAX/año)	Y (AENA) (% PHP sobre PT)	PHP (AENA)
2004	4.17	0.08	3291
2005	4.16	0.08	3288
2006	4.46	0.08	3409
2007	4.77	0.07	3530
2008	4.65	0.07	3484
2009	4.57	0.08	3454
2010	5.04	0.07	3636
2011	5.64	0.07	3859
2012	5.56	0.07	3828
2013	5.73	0.07	3889
2014	6.21	0.07	4060
2015	5.90	0.07	3951
2016	6.12	0.07	4029
2017	6.36	0.06	4110
2018	6.60	0.06	4192
2019	6.85	0.06	4276
2020	7.12	0.06	4363
2021	7.39	0.06	4451
2022	7.68	0.06	4541
2023	7.98	0.06	4634
2024	8.29	0.06	4729
2025	8.62	0.06	4826

ANEXO 2 – CÁLCULOS

En este anexo se elaboran los cálculos correspondientes para el correcto dimensionamiento de los diferentes motores que forman las máquinas de la instalación de aparcamiento que se desarrolla en este proyecto. Para ello, se aplican las fórmulas de cinemática para movimientos rectilíneos y en el caso de la mesa de giro las correspondientes al movimiento circular. En ambos casos, movimiento rectilíneo y circular, se diferencian 3 etapas en cada ciclo de movimentación.

Existe una primera etapa que denominamos etapa de aceleración, donde el punto de partida será la posición inicial en la que se encuentra la máquina y donde estará en reposo con una velocidad inicial nula. El final de esta primera etapa de aceleración corresponderá a alcanzar la velocidad máxima de operación que definimos para esta máquina, que es un parámetro que se define en la automatización programada, en mi casa está definida en los segmentos que corresponden a las maniobras de estas máquinas.

La segunda etapa es la etapa que denominamos de ciclo continuo y es la que más tiempo dura, a no ser que el movimiento que se realiza sea muy pequeño y pase la mayor parte del tiempo acelerando y decelerando. Una vez la máquina llega a su velocidad máxima de trabajo, pasa de la primera etapa de aceleración a la segunda etapa que hemos definido y permanece en esta etapa a la velocidad máxima de forma constante hasta llegar al punto donde comienza la tercera y última etapa, denominada etapa de deceleración. El autómatas se percata de haber llegado a esta posición mediante un detector o sensor de proximidad que se instala de forma física en la instalación y se conecta al PLC mediante una de las entradas digitales declaradas en el programa. En sistemas de mayor complejidad (un aparcamiento desarrollado en su totalidad se considera también de gran complejidad) no es suficiente poner un detector y sensor de proximidad, la máquina realiza todo el posicionado con elementos como encoders y telémetros y en los puntos clave, como este donde se pasa a decelerar, se coloca un sensor para asegurarse mediante 2 métodos el punto de inicio de la etapa.

Por último, se tiene la tercera etapa de deceleración que ya se ha introducido en el párrafo anterior. Una vez llegamos al punto de deceleración y comienza esta etapa la máquina inicia su proceso de frenado o deceleración, donde su velocidad inicial es la velocidad de operación máxima de la máquina y su velocidad final es 0. El punto donde se sitúa nuestro sensor para comenzar esta etapa de deceleración es calculado, en base a la velocidad de trabajo que se define para la máquina en cuestión y en función de la rampa de deceleración que se configura que tenga. En base a este cálculo se conoce la posición que debe tener este sensor y se realiza la instalación en este punto, por tanto, estos parámetros son de diseño y deben calcularse y especificarse en la etapa de desarrollo y diseño, antes de la intervención en obra.

Una vez detallado el proceso de movimentación que siguen cada una de las máquinas se pasa a detallar las velocidades de trabajo que queremos que tenga cada una de las máquinas de la instalación. De esta forma, se podrá dimensionar el motor que debe tener cada una de ellas, que es una fase necesaria en la

elaboración de la parte de desarrollo técnico previo a la implantación en obra de la instalación.

A2.1. Puerta Automática

Se definen los parámetros de velocidad y aceleraciones necesarios para el cálculo de los tiempos requeridos por la puerta automática para realizar sus movimientos, así como también el recorrido de sus posibles movimientos.

Tab. A2. 1. Parámetros de cálculo del ciclo de la puerta automática.

Maniobra	y_T [m]	V_{MAX} [m/min]	V_{MAX} [m/s]	V_{MIN} [m/min]	V_{MIN} [m/s]	a [m/s ²]	d [m/s ²]
Apertura puerta	3.00	30.00	0.50	0.00	0.00	0.50	-0.50
Cierre puerta	3.00	30.00	0.50	0.00	0.00	0.50	-0.50
$y_T \equiv$ Recorrido en vertical de la máquina.							
$V_{MAX} \equiv$ Velocidad máxima nominal de la máquina.							
$V_{MIN} \equiv$ Velocidad mínima nominal de la máquina.							
$a \equiv$ Aceleración de salida nominal de la máquina.							
$d \equiv$ Aceleración de salida nominal de la máquina.							

Se calculan las 3 etapas en las que se divide el movimiento de la máquina, tal y como se explica en el [Apartado 4.8](#) de la memoria técnica y se obtiene la siguiente tabla de resultados:

Tab. A2. 2. Tiempos de ciclo de la maniobra de la puerta automática.

Maniobra	t_{ca} [s]	y_{ca} [m]	t_{cc} [s]	y_{cc} [m]	t_{cd} [s]	y_{cd} [m]	t_T^* [s]	y_T [m]
Apertura PA	1.00	0.25	5.00	2.50	1.00	0.25	8.00	3.00
Cierre PA	1.00	0.25	5.00	2.50	1.00	0.25	8.00	3.00
t_T^* : Se ha aplicado un factor de seguridad de un +5% a su resultado.								

A2.3. Mesa de Giro

Para la obtención del ciclograma de la mesa de giro se requiere un estudio más extenso y complejo, al ser un movimiento circular. A continuación, en la [Tab. A2. 3](#), se indican los parámetros de diseño de la mesa de giro necesarios para su estudio, del mismo modo que en las otras máquinas del sistema. Sin embargo, en el caso de la mesa de giro el recorrido total se muestra en unidades angulares, al ser un movimiento circular, siendo el equivalente a media vuelta que será el movimiento más largo a realizar. Para realizar todos los cálculos en unidades de movimiento lineal, se pasa a un recorrido lineal, que sería la mitad del perímetro de la mesa de giro considerándola una circunferencia perfecta. Siguiendo el proceso que se desarrolla a continuación se obtiene la velocidad lineal de la

mesa de giro, partiendo con una velocidad angular inicial del motor de la máquina.

Tab. A2. 3. Parámetros de cálculo del ciclo de la Mesa de Giro.

Maniobra	θ_T [rad]	$V_{M\dot{A}X}$ [m/min]	$V_{M\dot{A}X}$ [m/s]	V_{MIN} [m/min]	V_{MIN} [m/s]	a [m/s ²]	d [m/s ²]
Giro sentido horario	π	30.00	0.50	0.00	0.00	0.50	-0.50
Giro sentido anti-horario	π	30.00	0.50	0.00	0.00	0.50	-0.50

El primer punto a tener en cuenta en este movimiento circular es que no es una transmisión de potencia directa, sino que se realiza una transmisión mediante un sistema de poleas y correas, en concreto se trata de una transmisión simple en la que intervienen 2 poleas y su transmisión es a través de una correa, como se muestra en la Fig. A2. 1 y Fig. A2. 2. La polea 1 corresponde a la polea motriz del sistema, es decir, a la que se conecta el motor de la mesa de giro mediante su eje motriz. En cambio, la polea 2 corresponde a la propia mesa de giro que hace ella misma las funciones de polea y recibe la potencia que le entrega el motor con un factor de reducción al ser de diámetro mayor. De ahí que el motor que se instale en la mesa de giro se le denomine motor reductor.

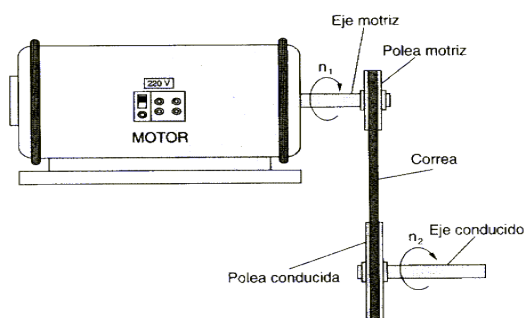


Fig. A2. 1. Mecanismo de transmisión de potencia de 2 poleas y 1 correa [15].

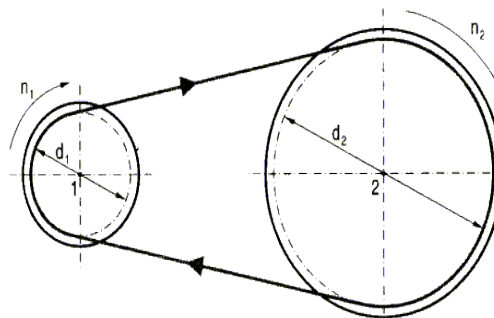


Fig. A2. 2. Relación de transmisión de potencia simple [15].

Por lo tanto, para obtener la velocidad de la mesa de giro se debe aplicar una reducción a la velocidad de salida del motor, que depende del sistema de transmisión diseñado. Los diámetros de ambas poleas son parámetros de diseño conocidos, mientras que el valor de la velocidad de salida del motor es un valor nominal del posible motor que se estudia y que si es viable se utilizará como motor de diseño de la mesa de giro. El motor con el que se prueba es del fabricante Sew-Eurodrive y su referencia es K67DRE100M4BE2/TF. Sew ofrece un rendimiento en cuanto a transmisiones de potencia como la que tiene lugar en la mesa de giro muy elevada y por ello se selecciona este fabricante para el motor de la mesa de giro.

Tab. A2. 4. Parámetros transmisión de potencia Mesa de Giro.

Diámetro polea conducida, $d_2[m]$	Perímetro MG, $p[m]$	Diámetro polea motriz, $d_1[m]$	Velocidad angular salida motor, $n_1[rpm]$
7.50	23.56	0.25	40.00

Por tanto, si se realiza el cálculo de acuerdo a los datos que se encuentran en la Tab. A2. 4 y aplicando la relación de transmisión simple, se obtiene la siguiente velocidad en el eje conducido (n_2), es decir, en la mesa de giro:

$$n_2 = \frac{d_1 \cdot n_1}{d_2} = \frac{0.25m \cdot 40 \text{ rpm}}{7.5m} = 1.33 \text{ rpm} \quad (0.1)$$

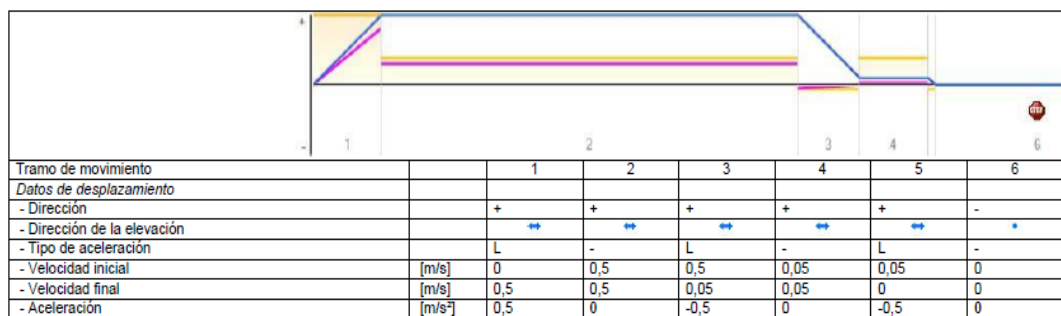
Acto seguido, se pasa la velocidad angular del eje conducido a términos de velocidad lineal (V_2) y esta velocidad lineal que se obtiene se pueden realizar los cálculos del tiempo de ciclo del mismo modo que en el resto de las máquinas, considerando que el recorrido lineal de la mesa de giro es la mitad de su perímetro, sabiendo que son recorridos de media vuelta los que realiza.

$$V_2 = n_2 \cdot R_{MG} = \frac{1.33 \text{ rev}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \times \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} \times \frac{7.50m}{2} = 0.52 \text{ m/s} \quad (0.2)$$

Teniendo en consideración que en los requisitos de diseño al elaborar el ciclograma se ha solicitado que la mesa de giro tenga una velocidad lineal de $30 \text{ m/min} = 0.5 \text{ m/s}$ para obtener los tiempos de ciclo deseados, se puede afirmar que está dentro del rango de operación y que este motor cumple con las expectativas solicitadas en el diseño.

Otro aspecto importante a comprobar es si el motor seleccionado cumple con las rampas de aceleración y deceleración solicitadas, que analizando la Tab. A2. 5 se confirma que si son posibles de asumir por el motor instalado. Por tanto, el motor seleccionado puede alcanzar la aceleración y deceleración propuesta y también la velocidad de operación de 30 m/min . Los cálculos realizados para la obtención de los resultados que se muestran, así como las rampas de aceleración mostradas en la Tab. A2. 5 han sido elaborados por el fabricante de motores Sew-Eurodrive y, por tanto, el estudio realizado tiene garantía oficial.

Tab. A2. 5. Cálculo rampas de aceleración motor Mesa de Giro, K67DRE100M4BE2/TF – SEW [16].



En la Tab. A2. 6 se muestra un resumen de los resultados obtenidos en la maniobra de 180° que experimenta la mesa de giro, siguiendo el procedimiento de cálculo de las 3 etapas del ciclo de maniobra explicados en el Apartado 4.8.

Tab. A2. 6. Tiempos de ciclo de las maniobras de la Mesa de Giro.

Maniobra	t_{ca} [s]	x_{ca} [m]	t_{cc} [s]	x_{cc} [m]	t_{cd} [s]	x_{cd} [m]	t_T^* [s]	x_T [m]
Giro sentido horario	1.00	0.25	24.13	12.07	1.00	0.25	28.00	12.56
Giro sentido anti-horario	1.00	0.25	24.13	12.07	1.00	0.25	28.00	12.56
t_T^* : Se ha aplicado un factor de seguridad de un +5% a su resultado.								
x_T^* : En este caso se trata de la mitad del perímetro de la MG, recorrido de medio vuelta.								

A2.4. Plataforma de movimentación horizontal

Siguiendo con la misma filosofía y métodos que se han adoptado para el cálculo del tiempo de ciclo del resto de máquinas, se hacen los cálculos correspondientes para la plataforma de movimentación horizontal. En la Tab. A2. 7 se muestran los parámetros de cálculo y en la Tab. A2. 8 se indican los resultados obtenidos, con la diferencia de que en este grupo de maquinaria hay 3 máquinas dentro.

En esta misma máquina, también existen unos mecanismos neumáticos que accionan los rodillos, pero estos son unos mecanismos accionados por unos cilindros neumáticos que se abaten y retraen rápido, unos 2 segundos como máximo y por ello no se hace un estudio profundo de ellos para el cálculo del tiempo de ciclo, tan solo se consideran 2 segundos cada ciclo de abatimiento o retraimiento. Su tiempo de ciclo se verá reflejado en la tabla del cálculo del tiempo de ciclo global del proceso del Apartado 4.8.1.

Tab. A2. 7. Parámetros de cálculo del ciclo del SAM.

Maniobra	x_T [m]	V_{MAX} [m/min]	V_{MAX} [m/s]	V_{MIN} [m/min]	V_{MIN} [m/s]	a [m/s ²]	d [m/s ²]
Recorrido RAIL (+)	50.00	90.00	1.50	0.00	0.00	0.50	-0.50
Recorrido RAIL (-)	50.00	90.00	1.50	0.00	0.00	0.50	-0.50
Recorrido de BOX a ELV	5.00	90.00	1.50	0.00	0.00	0.50	0.50
Recorrido de ELV a BOX	5.00	90.00	1.50	0.00	0.00	0.50	0.50
Extracción CARRO	7.50	20.00	0.33	0.00	0.00	0.50	-0.50
Recogida CARRO	7.50	20.00	0.33	0.00	0.00	0.50	-0.50
Avanzar Posicionador	4.00	20.00	0.33	0.00	0.00	0.50	-0.50
Retroceder Posicionador	4.00	20.00	0.33	0.00	0.00	0.50	-0.50

Tab. A2. 8. Tiempos de ciclo de las maniobras del SAM.

Maniobra	t_{ca} [s]	x_{ca} [m]	t_{cc} [s]	x_{cc} [m]	t_{cd} [s]	x_{cd} [m]	t_T^* [s]	x_T [m]
Recorrido RAIL (+)	3.00	2.25	30.33	45.50	3.00	2.25	39.00	50.00
Recorrido RAIL (-)	3.00	2.25	30.33	45.50	3.00	2.25	39.00	50.00
Recorrido de BOX a ELV	3.00	2.25	1.50	0.50	3.00	2.25	8.00	5.00
Recorrido de ELV a BOX	3.00	2.25	1.50	0.50	3.00	2.25	8.00	5.00
Extracción CARRO	0.67	0.11	21.83	7.28	0.67	0.11	23.17	7.50
Recogida CARRO	0.67	0.11	21.83	7.28	0.67	0.11	23.17	7.50
Avanzar Posicionador	0.67	0.11	11.33	3.78	0.67	0.11	14.00	4.00
Retroceder Posicionador	0.67	0.11	11.33	3.78	0.67	0.11	14.00	4.00

t_T^* : Se ha aplicado un factor de seguridad de un +5% a su resultado.

A2.2. Elevador

Siguiendo con la misma filosofía y métodos que se han adoptado para el cálculo del tiempo de ciclo en las máquinas anteriores se obtienen los del elevador. En la Tab. A2. 9 se muestran los parámetros de cálculo y en la Tab. A2. 10 se indican los resultados obtenidos.

Tab. A2. 9. Parámetros de cálculo del ciclo del Elevador.

[illegible]

El recorrido total del elevador (y_t) se obtiene de considerar un diseño de aparcamiento que contiene 3 plantas y que el recorrido máximo posible que puede tener que realizar el elevador es subir desde la Planta 0 a la Planta 3 o bajar desde la Planta 3 a la Planta 0; por lo que si se considera 3 metros de altura por piso, se tiene que el elevador deberá realizar un recorrido de 9 metros como máximo en su maniobra.

Tab. A2. 10. Tiempos de ciclo de las maniobras del Elevador.

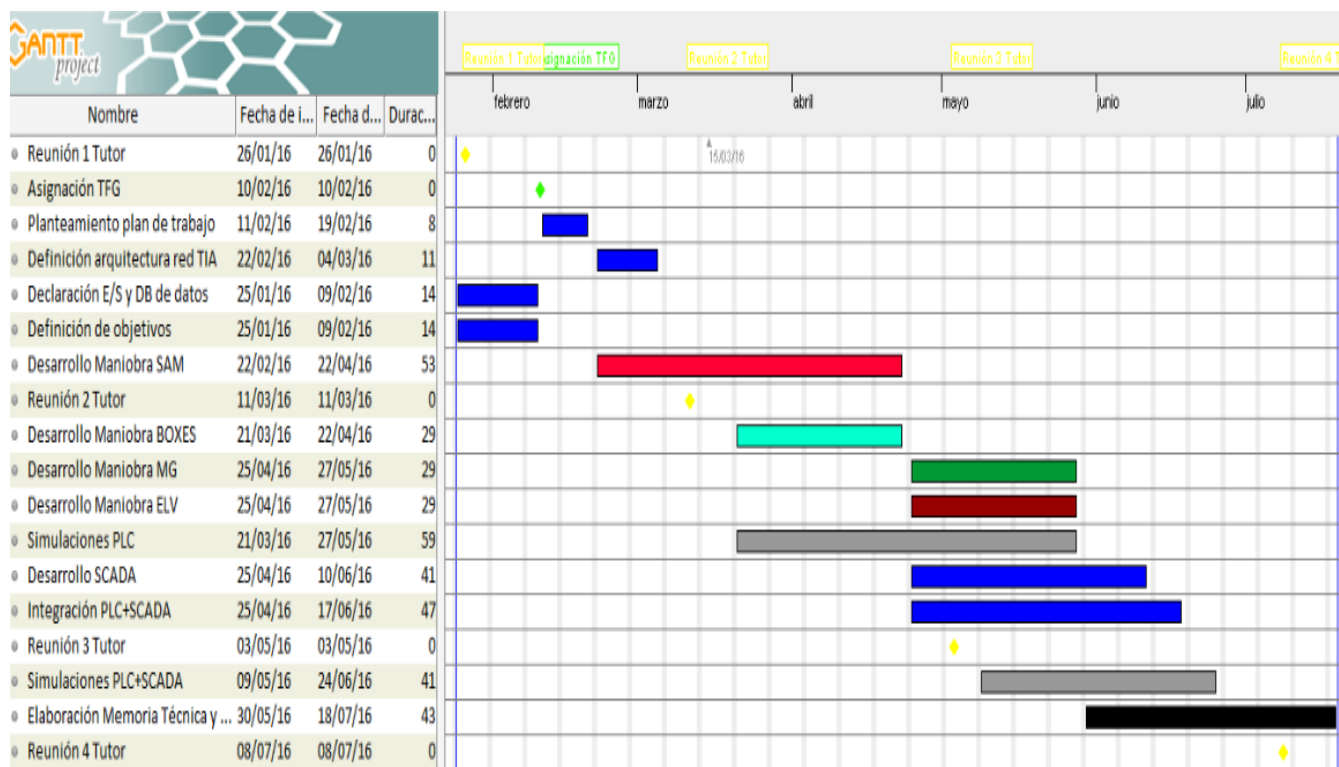
[illegible]

ANEXO 3 – PLANIFICACIÓN TFG

En este Diagrama de Gantt desarrollado se refleja el tiempo de desarrollo invertido en cada una de las partes principales de las que está formado el sistema de automatización del aparcamiento que se ha realizado en este proyecto. Es importante tener presente que este proyecto requiere más desarrollo e ingeniería para que sea un sistema automatizado real y que pueda implementarse en una instalación real, de forma que se amplíe su dimensionamiento y se acaben de definir todos los equipos que forman parte de la instalación, que se debe realizar junto con el departamento eléctrico y de hardware.

Se detalla también un ítem de puesta en marcha equivalente a 6 meses aproximadamente, siendo un valor estimativo, basado en la experiencia de otros tipos de obras realizadas. El parámetro de tiempo de puesta en marcha necesario para esta instalación depende de muchos factores que pueden hacer que difiera.

A su vez, el presupuesto de mano de obra e ingeniería del Anexo 4 está relacionado con el tiempo previsto en este Diagrama de Gantt.



ANEXO 4 – PRESUPUESTO ECONÓMICO

Dada la complejidad del proyecto que se ha tratado, se realiza una estimación presupuestaria del alcance económico que puede llegar a tener el desarrollo de un aparcamiento automatizado a nivel de hardware y software. En este proyecto se hace referencia tanto a la parte de ingeniería y desarrollo como a la puesta en marcha que se estima puede durar alrededor de unos 6 meses. En cuanto al coste del material, no se tiene una estimación exacta de todo el material necesario para este sistema desarrollado, aun así, se hace una estimación aproximada. En base a la estimación aproximada que se realiza y los precios que tenemos de nuestros proveedores se ha aproximado un valor de costes en material de campo.

No se ha entrado en el detalle del precio de motores y variadores de frecuencia, dada la complejidad que supone, al ser costes muy elevados y que deben acordarse directamente con nuestro proveedor el productor que más se ajusta a nuestras necesidades y, por último, cada presupuesto es diferente, al ofrecer siempre tarifas especiales y descuentos en función del volumen de material a entregar.

ELEMENTOS DE CONTROL PRINCIPAL, COMUNICACIÓN Y SOFTWARE						
Cant.	Referencia	MARCA	Descripción	PVP unit (€)	Imputable (%)	TOTAL (€)
1	6ES7513-1FL01-0AB0	SIEMENS	SIMATIC S7-1513-1	2.500	100	2.500
1	s/ref	SIEMENS	COMPLEMENTOS SIMATIC S7-1513-1	750	100	750
6	6GK5208 - 0BA10 - 2AA3	SIEMENS	SCALANCE X208	700	100	4.200
1	6GK5788-1GD00	SIEMENS	PUNTO ACCESO SCALANCE W788-1	1.900	100	1.900
1	6GK5734-1FX00-0AA0	SIEMENS	MOD. CLIENTE SCALANCE 723-1	1.800	100	1.800
1	s/ref	SIEMENS	ELEMENTOS DE CONEXIÓN	500	100	500
1	6AV6645-0EB01-0AX1	SIEMENS	PANEL 277F IWLAN PULS. PDA EMERG	4.725	100	4.725
1	s/ref	SIEMENS	COMPLEMENTOS PANEL 277F	800	100	800
1	6ES7822-1AA03-0YA5	SIEMENS	LICENCIA STEP7 PROF. TIA PORTAL V13	2.500	30	2.500
1	6AV2101-0AA03-0AA5	SIEMENS	LICENCIA WINCC CONFORT V13 SOFT TIA PORTAL	900	30	900
1	s/ref	SIEMENS	LICENCIA STARTDRIVE	1.000	30	1.000

TOTAL PARTIDA	21.575 €
----------------------	-----------------

MANO DE OBRA DESARROLLO E INGENIERÍA, PUESTA EN MARCHA						
Uds.	Cant.	Referencia	Descripción	PVP unit. (€)	Imputable (%)	PRECIO TOTAL (€)
Horas	656	s/ref	Programación máquinas	40	100	26.240
Horas	328	s/ref	SCADA	40	100	13.120
Horas	56	s/ref	Integración sistemas	40	100	2.240
Horas	160	s/ref	Simulaciones y pruebas	40	100	6.400
Horas	2500	s/ref	Puesta en marcha	40	100	100.000
-	-	s/ref	Cursos de Formación	10.000	30	3.000

TOTAL PARTIDA	151.000 €
----------------------	------------------

MATERIAL DE CAMPO						
Cant.	Referencia	MARCA	Descripción	PVP unit (€)	Imputable (%)	TOTAL (€)
5	-	-	Sensórica por máquina	10.000	100	50.000
3	1058164 DL100-21AA2112	SICK	TELÉMETROS LASER	6.500	100	19.500
3	6SL3055-0AA00-3AA1	SIEMENS	CARTAS DE COMUNICACIÓN TELÉMETROS	1.275	100	3.825
2	ATM60-A4A12X12	SICK	ENCODERS ABSOLUTOS	1.500	100	3.000
2	6SL3055-0AA00-5CA2	SIEMENS	CARTAS DE COMUNICACIÓN ENCODERS	800	100	1.600
-	-	-	Cableado	-	100	100.000

TOTAL PARTIDA	177.925 €
----------------------	------------------

TOTAL PROYECTO	350.500 €
-----------------------	------------------